

लेखिकेचा परिचय

डॉ. सुलभा काशिनाथ कुलकर्णी

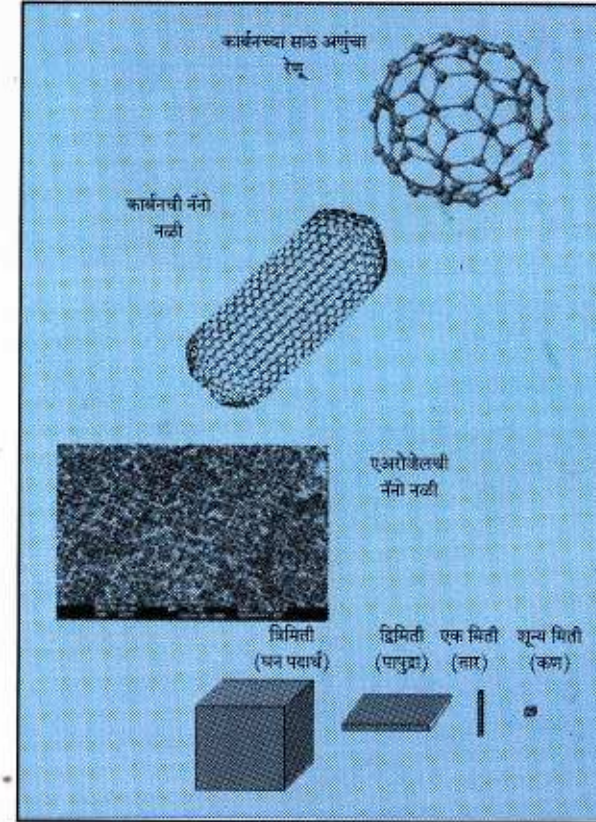
डॉ. सुलभा काशिनाथ कुलकर्णी ह्या पुणे विद्यापीठाच्या पदार्थ विज्ञान विभागात १९७७ पासून अध्यापन करीत आहेत. १९८७ मध्ये यु.जी.सी. शास्त्रज्ञ म्हणून त्यांची निवड झाली. भौतिक शास्त्रातील विविध विषयांवर त्यांनी संशोधन केले आहे. विशेषतः धातू-काच, कठीण पदार्थांचे लेप (हिरा, क्रोमिअम वगैरे), फ्युलरिन्स, अर्धवाहक पदार्थ, चुंबकीय पदार्थांचे थर, पृष्ठभागांचे शास्त्र, नॅनो पदार्थ ह्या विषयांत त्यांनी रस घेतला. त्याची परिणती अशी की आतापर्यंत त्यांच्या मार्गदर्शनाखाली १५ विद्यार्थ्यांना पुणे विद्यापीठाची विद्यावाचस्पती आणि १६ विद्यार्थ्यांना विद्यापती पदवी प्राप्त झाली. आपल्या विद्यार्थ्यांबरोबर आणि देश-विदेशीच्या सहकाऱ्यांसमवेत त्यांचे विविध आंतरराष्ट्रीय नियतकालिकांत सुमारे १५० हून अधिक शोधनिबंध प्रसिद्ध झाले आहेत. नॅनो विज्ञानासंबंधीत देखील त्यांचे सुमारे २५ शोधनिबंध प्रसिद्ध असून ५ विद्यार्थ्यांना ह्या विषयातील कामाबद्दल त्यांच्या मार्गदर्शनाखाली विद्यावाचस्पती ही पदवी प्राप्त झाली. अनेक राष्ट्रीय-आंतरराष्ट्रीय नियतकालिकांतील लेखांचे त्या परीक्षक म्हणून काम करतात. संशोधन आणि आंतरराष्ट्रीय परिषदांच्या निमित्ताने इंग्लंड, फ्रान्स, जर्मनी, इटली, जपान वगैरे देशांस त्यांनी अनेकवेळा भेटी दिल्या. विशेषतः अनेक जर्मन शास्त्रज्ञांबरोबर त्यांनी संशोधन केलेले असून शोधनिबंध लिहिले आहेत. ह्या सहकार्यामुळे त्यांना पुणे विद्यापीठाच्या पदार्थ विभागासाठी मोठ्या प्रमाणावर काही अद्यावत् शास्त्रीय उपकरणे तसेच पुस्तकेही भेटीदाखल मिळालेली आहेत. पृष्ठभौतिक शास्त्र तसेच नॅनो पदार्थांचे विज्ञानावर देशविदेशात त्यांनी अनेक व्याख्याने दिलेली आहेत. काही राष्ट्रीय-आंतरराष्ट्रीय परिषदांत काही सत्रांचे अध्यक्षपदही त्यांनी भूषविले आहे. इंडियन फिजिक्स असोसिएशनच्या पुणे विभागाच्या काही काळ त्या अध्यक्ष होत्या. सध्या इंडियन असोसिएशन ऑफ फिजिक्स टीचर्सच्या पुणे विभागाच्या त्या अध्यक्षा आहेत. १९७७-७८ मध्ये जर्मन अँकॅडमिक एक्स्चेंजतर्फे त्यांची फेलो म्हणून निवड झाली होती तर १९९६ मध्ये जपानच्या जे. एस. पी. एस. प्राध्यापिका म्हणून त्यांना निमंत्रित करण्यात आले होते. महाराष्ट्र अँकॅडमी ऑफ सायन्सेसच्या त्या फेलो आहेत.

आपटे बंधू स्मृति व्याख्यानमाला

पुष्प अठरावे

शुक्रवार दि. २५ जानेवारी २००२

नॅनो पदार्थांचे विज्ञान आणि तंत्रज्ञान



लेखिका

डॉ. सुलभा कुलकर्णी

पदार्थ विज्ञान विभाग, पुणे विद्यापीठ, पुणे

मराठी विज्ञान परिषद, पुणे विभाग

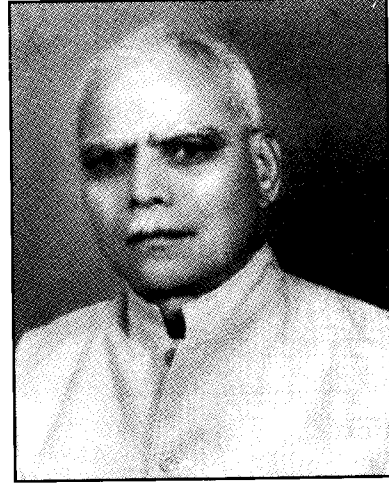


कै. प्रा. सखाराम विनायक आपटे

M. A., B.Sc.

जन्म : १५-०७-१८८९

मृत्यू : २८-०७-१९७४



कै. डॉ. मल्हार विनायक आपटे

B.Sc., M.B.B.S.

जन्म : ०७-०३-१८९७

मृत्यू : १५-०४-१९८३

खंड २ पृष्ठ ३२६

नॅनो पदार्थांचे विज्ञान आणि तंत्रज्ञान ★★ ३

आपटे बंधू स्मृति व्याख्यानमाला

पुष्प अठरावे

शुक्रवार दि. २५ जानेवारी २००२

नॅनो पदार्थांचे विज्ञान आणि तंत्रज्ञान

लेखिका

डॉ. सुलभा कुलकर्णी

पदार्थ विज्ञान विभाग, पुणे विद्यापीठ, पुणे



मराठी विज्ञान परिषद, पुणे विभाग

किंमत २० रु.

खंड २ पृष्ठ ३२७

आपटे बंधू स्मृति व्याख्यानमाला

पुष्प अठरावे

शुक्रवार दि. २५ जानेवारी २००२

© मराठी विज्ञान परिषद, पुणे विभाग

नॅनो पदार्थांचे विज्ञान आणि तंत्रज्ञान

डॉ. सुलभा कुलकर्णी

पदार्थ विज्ञान विभाग, पुणे विद्यापीठ, पुणे

प्रकाशक

सौ. नीता शाह, कार्यवाह

मराठी विज्ञान परिषद, पुणे विभाग,

टिळक स्मारक मंदिर, पुणे ४११ ०३०.

मुद्रक

आनंद लाटकर

कॉम्प-प्रिंट कल्पना प्रा. लि.

४६१/४, सदाशिव पेठ,

टिळक रोड, पुणे ४११ ०३०.

दूरध्वनी : ४४७७५२७

प्रकाशकाचे निवेदन

विज्ञान हे शास्त्रज्ञांपुरतंच सीमित न रहाता त्याचा परिचय सर्वसामान्य जनतेसही होणे हे सामाजिक विकासाच्या दृष्टीने महत्वाचे आहे. या विचारांनी मराठी विज्ञान परिषद १९६७ पासून काम करीत आहे. परंतु त्या पूर्वीही या विचारांनी भारावून गेलेली मंडळी होतीच, त्यामध्ये प्रामुख्याने प्रा. सखाराम विनायक आपटे आणि डॉ. मल्हार विनायक आपटे हे 'आपटे बंधू'. मराठी विज्ञान परिषद, पुणे विभागाने या आपटे बंधूंची आदरणीय स्मृती चिरंतन ठेवण्यासाठी १९८४ पासून वर्षातून एक व्याख्यान व त्यावर आधारित एक पुस्तिका प्रकाशित करण्याचा उपक्रम चालू केला आहे. श्री. गजानन विनायक आपटे ह्यांचे आर्थिक सहाय्य या उपक्रमासाठी लाभते आहे म्हणूनच मराठी विज्ञान परिषदेला हा उपक्रम शक्य झाला आहे याचा कृतज्ञतापूर्वक उल्लेख आम्ही येथे करतो. हे व्याख्यान डिसेंबर २००१ मध्येच व्हायला हवे होते परंतु काही कारणाने तसे झाले नाही.

अतिसूक्ष्म कणांचा अभ्यास हे विज्ञानाचे तसे नवे दालन आहे. डॉ. सुलभा कुलकर्णी या पुणे विद्यापीठात या विषयावर संशोधन करीत आहेत. त्यांनी हा विषय शक्यतितका सोपा करून मांडण्याचा प्रयत्न केला आहे. वैज्ञानिक लिखाण मराठीतून करायचे तसे सोपे नाही. अनेकदा पारिभाषिक शब्द तयार करून वापरावे लागतात. शेवटी शब्दसूची दिली आहेच. आमच्या विनंतीला मान देऊन डॉ. सुलभा कुलकर्णी यांनी हे व्याख्यानपुष्प गुंफले याबद्दल मराठी विज्ञान परिषद त्यांची आभारी आहे.

दि. २५ जानेवारी २००२

टिळक स्मारक मंदिर

पुणे ४११ ०३०

सौ. नीता शाह

कार्यवाह

मराठी विज्ञान परिषद

ऋणनिर्देश

नॅनो विज्ञान व तंत्रज्ञान गेल्या १-२ वर्षांत प्रसिद्धीच्या जास्त झोतात आलेले आहे. परंतु पुणे विद्यापीठाच्या पदार्थ विज्ञान विभागात गेली ८-१० वर्षे आम्ही ह्या विषयावर काम करीत आहोत. हा विषय आमचे विभागात विकसित होण्यात संशोधन करणाऱ्या अनेक विद्यार्थ्यांचा व सहकाऱ्यांचा सहभाग आहे. देशातील तसेच परदेशातील काही शास्त्रज्ञांचाही सहकार नमूद करणे जरूरीचे आहे. डी. एस्. टी., इस्को, डि. आर्. डी. ओ., इन्टर युनिव्हर्सिटी कंसोर्टिअम् फॉर डी. ए. ई. फॅसिलिटिज, यु. जी. सी. यांसारख्या संस्थांचे आर्थिक पाठबळही आमच्या संशोधनास उपयुक्त ठरलेले आहे.

मराठी विज्ञान परिषद, पुणे विभाग, या संस्थेने, आपटे बंधू स्मृति व्याख्यानमालेतील अठरावे पुष्प या विषयावर गुंफण्यासाठी मला आमंत्रण दिल्यामुळे त्या व्याख्यानाला आधारभूत अशी ही पुस्तिका लिहिण्याची संधी मला मिळाली यासाठी परिषदेची मी ऋणी आहे.

ही पुस्तिका सिद्ध करताना विद्यापीठातील आमच्या विभागातील सध्याच्या विद्यार्थ्यांचे घनिष्ट साहाय्य लाभले आहे.

व्याख्यान्याच्या विषयाची निवड झाल्यानंतर परिषदेच्या काही सदस्यांची माझ्याशी चर्चा झाली. त्या चर्चेतून निष्पन्न झालेल्या बहुमोल सूचनांचा लाभ मिळालेला आहे.

परिषदेचे एक कार्यकर्ते श्री. वसंतराव आपटे यांनी या पुस्तिकेसाठी जे कष्ट घेतले त्यांचा आवर्जून उल्लेख केला पाहिजे.

अखेरीस माझे कुटुंबीय जे माझ्या कामात सतत प्रोत्साहन देतात त्यांचे आभार मानावे तेवढे थोडेच.

डॉ. सुलभा कुलकर्णी

अनुक्रमणिका

	पृष्ठ क्र.
१) विषयप्रवेश	७
२) नॅनोमीटर म्हणजे किती सूक्ष्म	८
३) नॅनो तंत्रज्ञान म्हणजे काय	१०
४) सूक्ष्मदर्शक	१२
५) नॅनोपदार्थ तयार करण्याच्या पद्धती	१८
६) नॅनो कण ते दृश्य पदार्थ	२८
७) नॅनो पदार्थांचे वैशिष्ट्यपूर्ण गुणधर्म	२९
८) नॅनो तंत्रज्ञानाचा उपयोग	३१
९) नॅनो यंत्रमानव	३४

विषय प्रवेश

विज्ञान आणि तंत्रज्ञानाने विसाव्या शतकात फार मोठी झेप घेतली. पृथ्वी, चंद्र, तारे, आकाशगंगा, अणू, रेणू, सजीवांची उत्क्रांती, निर्जीव पदार्थांचे गुणधर्म समजून घेताना प्रयोगांद्वारे सिद्धांतांचे पडताळे घेण्याच्या पद्धतीही विकसित होत गेल्या. त्यातूनच तंत्रज्ञान विकसित होत गेले. तंत्रज्ञान हे मुलभूत शास्त्रांपुरते मर्यादित न राहता दळणवळण, संपर्क, वस्त्रोद्योग, शेतकीशास्त्र, वैद्यकशास्त्र वगैरेसाठीही उपयुक्त ठरले आहे. आगगाड्या, मोटारगाड्या, विमाने, अंतराळ याने, दूरध्वनी, संगणक, रस्ते, धरणे ही तंत्रज्ञानाच्या प्रगतीची काही ठळक उदाहरणे होत. माणसाचे दैनंदिन जीवन सुखद होण्यात तंत्रज्ञानाचा फार मोठा हात आहे. रोगनिदान, शस्त्रक्रिया, रोगप्रतिबंधक लशी, औषधे ह्यांमुळे माणसाला निरामय दीर्घायुष्य मिळण्यास बरीच मदत झाली आहे.

विज्ञान-तंत्रज्ञानाच्या जमेला जरी बऱ्याच गोष्टी असल्या तरी दुदैवाने सर्वकाही ठाकठिक नाही! माणसाचे जीवन आरामदायी होणारे तंत्रज्ञान विकसित पावले तसेच मानवाचा विध्वंस करू शकणारे तंत्रज्ञानही बरोबरीने निर्माण झाले आहे. फायद्यांबरोबर तोटेही आहेतच. शिवाय दोन हजार वर्षांपूर्वी जेव्हा आजच्या तुलनेने काहीच तंत्रज्ञान नव्हते, त्यावेळी जगाची लोकसंख्या केवळ ३० कोटी असावी असे अनुमान आहे; आज तीच संख्या सुमारे ६०० कोटी आहे. आणि दुदैवाने त्यातील सुमारे ४०० कोटी माणसे दारिद्र्य रेषेच्याखाली राहत आहेत. काहीना पुरेसे अन्न-कपडे मिळत नाहीत तर काहीना पिण्याचे स्वच्छ पाणीदेखील मिळत नाही. वैद्यकीय मदत तर दूरच. तंत्रज्ञान -शास्त्र खूप लोकांपर्यंत फारसे पोहोचू शकले नाही. दारिद्र्य, रोगराई, कुपोषणांनी पीडलेल्या त्या मोठ्या जनसमुदायापर्यंत तंत्रज्ञान का पोहोचू शकत नाही? सर्वच मानवजात कधी तरी कमीत कमी अन्न-वस्त्र-निवारा मिळवू शकेल काय? असे कोणचे तरी तंत्रज्ञान कधी तरी येईल का की जे सर्वांच्या मूलभूत गरजा भागवू शकेल?

बऱ्याच शास्त्रज्ञांचे आणि तंत्रज्ञान्यांचे असे अनुमान आहे की असे सुवर्णयुग फार दूर नाही! केवळ गेल्या १५-२० वर्षांतच नवीनच उदयाला येत असलेले नॅनो तंत्रज्ञान, अशा स्थितीत जाऊन पोहचू शकेल की सर्वानाच हे तंत्रज्ञान परवडू शकेल. हे तंत्रज्ञान सर्व क्षेत्रे काबीज करेल आणि मानवजात सुखी होईल! अनेक शास्त्रज्ञांनी आपापल्या देशातील राजकीय व्यक्तींना नॅनोतंत्रज्ञानाचे महत्त्व पटवून देऊन संशोधनासाठी मोठ्या प्रमाणात गुंतवणूकही केलेली आहे. नॅनो शास्त्र आणि तंत्रज्ञानासाठी नवीन संस्थादेखील अनेक देशांत अलीकडेच स्थापन झाल्या आहेत. अमेरिका, फ्रान्स, जर्मनी, जपान ह्यांसारखे प्रगत देश नॅनोतंत्रज्ञानावरील संशोधनात चढाओढीने पैसा गुंतवत आहेत. साहजिकच मनात प्रश्न येतात की हे नॅनोतंत्रज्ञान आहे तरी काय आणि मानवजातीसाठी ते काय करणार आहे? कसे करणार आहे? खरोखरच ही पृथ्वी सुजलाम्-सुफलाम् बनून मानवासाठी 'सुवर्णयुग' येईल काय?

शास्त्रज्ञ-तंत्रज्ञान्यांचे 'सुवर्णस्वप्न' कितपत व कधी साध्य होईल हा मुद्दा जरी क्षणभर बाजूला ठेवला तरी एक गोष्ट नक्कीच खरी आहे की 'उद्याची तंत्रज्ञाने' म्हणून किंवा २१ व्या शतकातील 'तंत्रज्ञाने' म्हणून ज्या काही मोजक्या तंत्रज्ञानांकडे पाहिले जात आहे, त्यांत नॅनोतंत्रज्ञानाचा क्रमांक अग्रगण्य आहे.

ह्या ठिकाणी नॅनोतंत्रज्ञान म्हणजे काय, 'नॅनो' म्हणजे किती सूक्ष्म, नॅनोतंत्रज्ञान कसे विकसित होत आहे त्याचा विचार करू या.

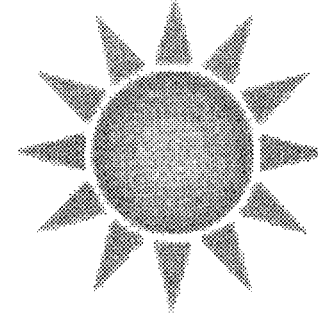
नॅनोमीटर म्हणजे किती सूक्ष्म

लांबी, रुंदी, उंची किंवा अंतरे मोजण्यासाठी आपण 'मीटर' ह्या परिमाणाचा उपयोग करतो. मीटरपेक्षा लहान आकार किंवा लांबी मोजण्यासाठी सेंटीमीटर, मिलिमीटर, मायक्रोमीटर, नॅनोमीटर, पिकोमीटर यांचा वापर करतात.

$$१ \text{ सेंटीमीटर} = \frac{१}{१००} \text{ मी} = ०.०१ \text{ मीटर} = \text{मीटरचा शंभरावा भाग}$$

$$१ \text{ मिलिमीटर} = \frac{१}{१०००} \text{ मी} = ०.००१ \text{ मीटर} = \text{मीटरचा हजारावा भाग}$$

$$१ \text{ मायक्रोमीटर} = \frac{१}{१००००००} \text{ मी} = ०.००००००१ \text{ मीटर} = \text{मीटरचा दहा लाखावा भाग}$$



सूर्याचा व्यास १,३९३,००० कि.मी.



पृथ्वीचा व्यास १२८,०० कि.मी.



हिमालयाची उंची ८,८४८ मी.



माणसाची सर्वसाधारण उंची १.६५ मी.



जीवाणू १ ते ३ मायक्रोमीटर



कॅडमिअम सल्फाइड नॅनो कण १ ते १० नॅनोमीटर

(आकृती क्र. १)

$$१ \text{ नॅनोमीटर} = \frac{१}{१००,०००,०००} \text{ मी.} = ०.००००००००१ \text{ मीटर} = \text{मीटरचा एक अब्जावा भाग}$$

आपल्या अवती भवतीच्या सर्व वस्तू अत्यंत सूक्ष्म, जे आपल्याला दिसू शकत नाहीत अशा अणु-रेणूपासून बनलेल्या आहेत. सर्वात लहान अणु हायड्रोजनचा. तो इतका लहान आहे की एका मीटरमध्ये एका शेजारी एक असे हायड्रोजनचे एक हजार कोटी अणु बसतील. नॅनोमीटर इतका लहान की त्यात हायड्रोजनचे केवळ दहाच अणु बसतील. मायक्रोमीटर सुद्धा नॅनोमीटरपेक्षा बराच मोठा कारण एका मायक्रोमीटरमध्ये दहा हजार हायड्रोजन अणु बसतील ! आकृती क्र. १ मध्ये आपल्या परिचयाच्या वेगवेगळ्या लहान मोठ्या वस्तू दाखविल्या आहेत. त्यांच्या तुलनेवरून लक्षात येईल की 'नॅनोमीटर' अतिशयच सूक्ष्म आहे.

नॅनो तंत्रज्ञान म्हणजे काय?

एक-एक अणु एकत्र आणून किंवा मोठा पदार्थ खोदून अतिसूक्ष्म, काटेकोर पद्धतीने पदार्थ तसेच यंत्रे बनविण्याच्या तंत्रज्ञानाला नॅनो तंत्रज्ञान म्हणतात.

'नॅनो' हा ग्रीक शब्द असून त्याचा अर्थ आहे 'खुजा'. मीटरचा अतिशय सूक्ष्म भाग मोजण्यासाठी 'नॅनोमीटर' ($१०^{-९}$ मीटर) $= \frac{१}{१,००,००,००,०००}$ मीटर ह्या लांबी मोजण्याच्या परिमाणाचा उपयोग केला जातो.

ज्या पदार्थांची लांबी किंवा रुंदी किंवा उंची अथवा सर्व नॅनोमीटर एवढे लहान असतील त्यांचे गुणधर्म मोठ्या आकारांच्या पदार्थांपासून अतिशय भिन्न असतात. एक एक अणु एकत्र आणून नॅनो आकाराचे पदार्थ तयार करणे व त्यांचे गुणधर्म अभ्यासणे हे एक मोठे अवघड काम आहे. नॅनो पदार्थांबद्दलच्या शास्त्राला नॅनोशास्त्र किंवा विज्ञान असे म्हणतात तर त्यापासून तयार होणाऱ्या तंत्रज्ञानाला नॅनोतंत्रज्ञान.

वास्तविक सर्व सजीवसृष्टी देखील एक प्रकारची नॅनोयंत्रे वापरते. अतिसूक्ष्म पेशी, त्यांमधील प्रथिने, विकरे, डी.एन.ए., आर.एन.ए ही केवळ काही लाखो कोटी अणूंच्या संयुगाने तयार झालेली नॅनोयंत्रेच आहेत ! निसर्गाने कोट्यावधी वर्षे खर्च करून विशिष्ट अणु-रेणूंच्या जुळणीव्दारे जन्म-वृद्धी-मृत्यु यांच्या चक्रातून जाणारी स्वयंचलित यंत्रणा निर्माण केली. त्या चक्रातून जाताना सजीव पुढची पिढीही निर्माण करतात.

आज शास्त्रज्ञही निसर्गापासून शिकण्याचा प्रयत्न करीत आहेत. सजीवांची रचना

विचारात घेतली तर जाणवते की निसर्गाने अतिसूक्ष्म अवयवांचा वापर करूनच लहान जागेतच वेगवेगळे अवयव बसविले आहेत. पाहणे, ऐकणे, बोलणे, श्वास घेणे, विचार करणे, आठवणी साठवणे, एक ना अनेक क्रिया आपोआप होण्याची शरीरात सोय करून ठेवली आहे ! अतिशय लहान यंत्र तयार केल्याने जागा, पदार्थ यांची बचत तर होतेच परंतु दळणवळणासाठी अवश्य अशा उर्जेचीही बचत होते. अतिसूक्ष्म यंत्रांचा उपयोग मानवी शरीरातील दोष किंवा पेशी दुरुस्त करण्यापासून छोट्या विद्युतयंत्रणा दुरुस्त करण्यापर्यंत होऊ शकेल ! नॅनोशास्त्राचा अभ्यास करणाऱ्यांना पदार्थांच्या अतिसूक्ष्म आकारांची व त्यामुळे पदार्थांच्या बदलणाऱ्या गुणधर्मांची चटकन मोहिनी पडते. आश्चर्याने ते स्तंभित होतात. परंतु नॅनोपदार्थांचा केवळ लहान आकारच तंत्रज्ञानाच्या दृष्टीने खरा महत्त्वाचा नाही. खरे महत्त्व अशात आहे की ते अतिशय स्वस्तात बनवता येणे शक्य होईल. त्यामुळे नॅनो तंत्रज्ञान सर्वासाठी होईल. संगणक आज घरोघरी का पोहोचले ? त्यांच्या किंमती आवाक्यातल्या झाल्या म्हणून ! त्यांचा आकार अजून थोडा मोठा असता तरी फारसे काही बिघडले नसते. लहान आकार हा एक आणखीन फायदा. परंतु सर्वात महत्त्वाची गोष्ट म्हणजे किंमत ! विद्युत यंत्रांची आणखीन एक वैशिष्टपूर्ण बाब अशी आहे की त्यांचा आकार जितका लहान तितकी त्यांची जलद काम करण्याची क्षमता जास्त. मोठ्या प्रमाणावर हे तंत्रज्ञान वापरल्यावर विविध वस्तूंच्या किंमतीही नाममात्र होऊ शकतील. विशेषतः एकसारख्या बऱ्याच वस्तू तयार करायच्या असतील तर एकदा साचा तयार केला की जलद आणि हुबेहुब प्रति काढणे सहज शक्य होते. लाखो प्रति निघत असल्याने त्यांच्या किंमती कमी होतात. आपणांस वर्तमानपत्रे त्यामुळेच तर किती स्वस्त मिळतात !

नॅनोतंत्रज्ञानात नेमके हेच अपेक्षित आहे. नॅनोयंत्रे जर स्वप्रति निर्माण करू शकली तर यंत्रांच्या किंमती कल्पनेपेक्षा कमी होतील. शिवाय प्रदूषणरहित तंत्रज्ञानाचाही नॅनो तंत्रज्ञानात मोठा पुरस्कार केला जात आहे. त्यामुळे सूक्ष्म-नॅनो पदार्थांचे भविष्य फार चांगले दिसत आहे.

नॅनो पदार्थांची आणि तंत्रज्ञानाची माहिती करून घेताना एक गोष्ट लक्षात घेणे अवश्य आहे. ती म्हणजे, डोळ्यांनी एखादी वस्तू किंवा पदार्थ पाहयचा असेल तर त्याचा आकार निदान १०० मायक्रॉन असावा लागतो. त्यापेक्षा लहान पदार्थ उदाहरणार्थ पेशी, जीवाणू, विषाणू, रेणू, अणु पाहण्यासाठी वेगवेगळे सूक्ष्मदर्शक वापरावे लागतात. परंतु अणु-रेणूंसारख्या लहान पदार्थांना केवळ पाहून त्यामध्ये

समाधान न मानता, त्यांना हव्या त्या रचनांमध्ये कसे एकत्र आणून सजीवांमध्ये ज्याप्रमाणे अनेक सूक्ष्मयंत्रे आहेत, ती किंवा तशी तयार करता येतील, त्यांचे प्रयत्न म्हणजे नॅनो पदार्थांचे विज्ञान आणि तंत्रज्ञान !

नॅनो पदार्थ तयार करण्याच्या पद्धती, त्यांचे गुणधर्म आणि उपयोग यांचा विचार करण्यापूर्वी सूक्ष्मपदार्थ किती सूक्ष्म आहे हे पाहणेही किंवा पाहू शकण्याची क्षमता असणे अवश्य आहे. त्यासाठी वापरल्या जाणाऱ्या सूक्ष्मदर्शकांची माहिती आधी करून घेऊ या.

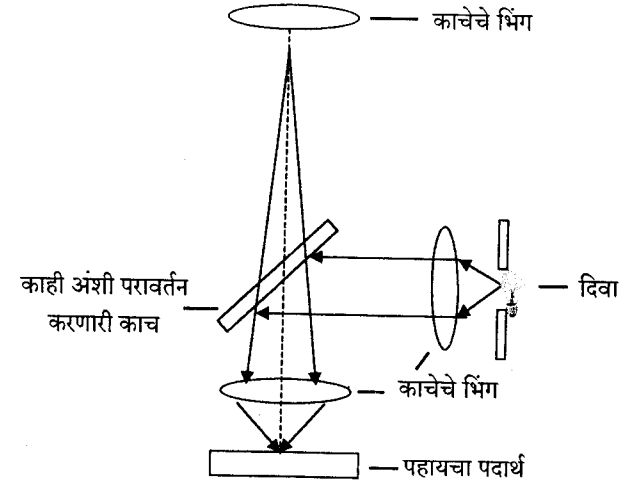
सूक्ष्मदर्शक

आपणांस डोळ्यांनी साधारणपणे १०० मायक्रोमीटर आकाराचा पदार्थ पाहता येतो. परंतु त्याहून लहान पदार्थ पाहण्यासाठी सूक्ष्मदर्शकाचा वापर करावा लागतो. सध्या अनेक प्रकारचे सूक्ष्मदर्शक वापरात आहेत. त्यांची तुलना पृष्ठ क्र. ३६ वर केलेली आहे.

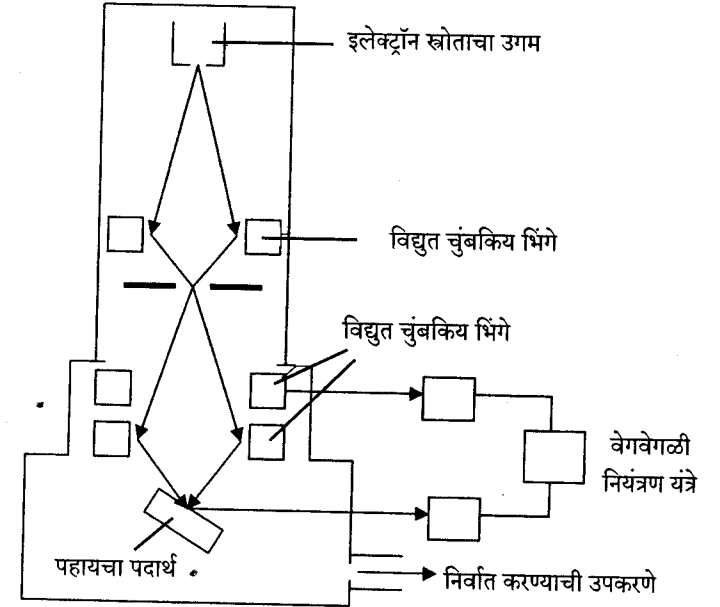
सूक्ष्मदर्शक वापरण्यास १६ व्या शतकातच सुरुवात झाली. मात्र १९ व्या शतकापर्यंत दृश्य प्रकाश आणि काचेच्या भिंगांचा वापर केलेले सूक्ष्मदर्शकच फक्त अस्तित्वात होते. त्या सूक्ष्मदर्शकांमुळे सुमारे एक दशांश मायक्रोमीटर आकाराचे पदार्थ पाहण्याची सोय झाली. शास्त्रज्ञ एवढ्यावर संतुष्ट नव्हते. कारण अणु-रेणू मायक्रोमीटरपेक्षा कितीतरी लहान आहेत हे लक्षात येऊ लागले होते.

सन १८९७ मध्ये जे.जे. थॉमसन ह्यांनी इलेक्ट्रॉनचा शोध लावला. नंतर इलेक्ट्रॉन्सचा वापर करून रुस्का या शास्त्रज्ञाने इलेक्ट्रॉन सूक्ष्मदर्शक तयार केला. अशा सूक्ष्मदर्शकांत साधारणतः १०० नॅनोमीटर आकाराचे पदार्थ आरामात पाहता येतात तर प्रयत्नपूर्वक कामात ३-४ नॅनोमीटर इतके लहान पदार्थही दिसू शकतात. काही विशिष्ट इलेक्ट्रॉन सूक्ष्मदर्शकांत अणु सुद्धा पाहता येतात. अशा सूक्ष्मदर्शकांना पारदर्शी इलेक्ट्रॉन सूक्ष्मदर्शक म्हणतात. अणुंची घनपदार्थातील रचना समजून घेण्यासाठी त्यांचा उपयोग होतो. नॅनो पदार्थांच्या अभ्यासात त्यांचा वापर अनिवार्य ठरतो. मात्र त्यासाठी पदार्थ काही विशिष्टरीत्या तयार करावे लागतात. त्यामुळे त्यांचा वापर जरा कमी होतो. शिवाय इलेक्ट्रॉन सूक्ष्मदर्शकांत प्रचंड विद्युतदाब (५ ते १०० किलोव्होल्ट) असावा लागतो. तसेच संपूर्ण उपकरण निर्वात करावे लागते हे वेगळेच.

बारकाईने विचार केला तर असे दिसते की प्रकाशाचा वापर केलेले सूक्ष्मदर्शक

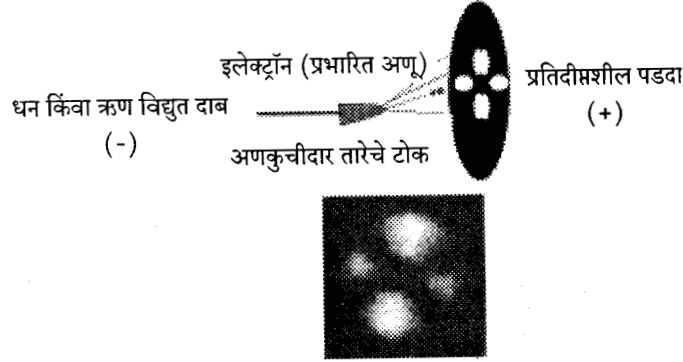


प्रकाशिकीय सूक्ष्मदर्शकाची रेखाकृती



इलेक्ट्रॉन सूक्ष्मदर्शकाची रेखाकृती
(आकृती क्र. २)

आणि इलेक्ट्रॉनचा वापर केलेले सूक्ष्मदर्शक यांत काही बाबतीत साम्य आहे. प्रकाश सूक्ष्मदर्शकांत प्रकाश एकवटण्यासाठी काचेच्या भिंगाचा वापर करतात तर इलेक्ट्रॉन सूक्ष्मदर्शकांत विद्युत चुंबकिय भिंगे वापरतात. सन १९३५ मध्ये म्युलर ह्या शास्त्रज्ञाने मात्र अगदी वेगळ्या प्रकारचा सूक्ष्मदर्शक तयार केला. ह्या सूक्ष्मदर्शकाला विद्युतक्षेत्रीय इलेक्ट्रॉन उत्सर्जन सूक्ष्मदर्शक म्हणतात. ह्या सूक्ष्मदर्शकात जो पदार्थ मोठा करून पाहायचा तो टोकदार तारेच्या रूपात घेतात. तार निर्वात उपकरणात ठेऊन तार आणि त्याच उपकरणात वापरलेल्या प्रतिदीप्तिशील पडद्यामध्ये विद्युतदाब निर्माण करतात. जेव्हा विद्युतदाब पुरेसा जास्त (३-८ किलो व्होल्ट) असतो त्यावेळी तारेच्या टोकातून बाहेर पडणारे इलेक्ट्रॉन पडद्यावर धनभार असल्यामुळे (ऋणभारीत इलेक्ट्रॉन्स) पडद्याकडे खेचले जातात. ज्या भागावर इलेक्ट्रॉन पडतात तो भाग देदीप्यमान दिसतो. अशा सूक्ष्मदर्शकात २-३ नॅनोमीटर व्यासाचे तारेवरचे भाग दिसू शकतात. पदार्थाचे काही गुणधर्म अभ्यासण्यासाठी अशा सूक्ष्मदर्शकांचा आजही वापर केला जातो. परंतु अणु-रेणू पाहण्याच्या दृष्टीने



विद्युतक्षेत्रीय इलेक्ट्रॉन उत्सर्जन सूक्ष्मदर्शकाची रेखाकृति आणि तो वापरून घेतलेली निकेलच्या तारेच्या टोकाची प्रतिमा
(आकृती क्र. ३)

हा सूक्ष्मदर्शक उपयोगी नव्हता.

त्यामुळे म्युलर ह्यांनी स्वतःच सन १९५४ च्या सुमारास आणखीन एक नवा सूक्ष्मदर्शक, ज्याला प्रभारीत अणू सूक्ष्मदर्शक म्हणता येईल असा सूक्ष्मदर्शक तयार केला. विद्युतक्षेत्रीय इलेक्ट्रॉन उत्सर्जन सूक्ष्मदर्शका सारखाच असणारा हा सूक्ष्मदर्शक केवळ वेगळ्या पद्धतीने वापरतात. एक तर टोकदार तार खूप कमी तापमानाला

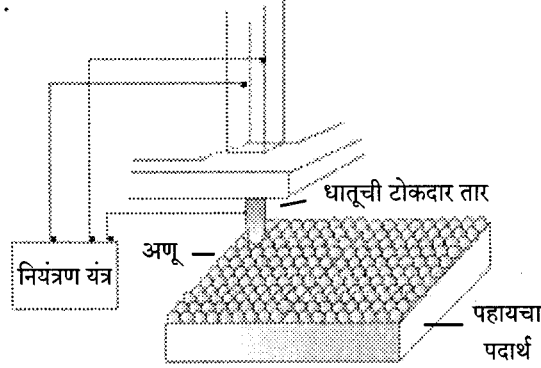
ठेवतात आणि दुसरे म्हणजे तार धन आणि पडदा ऋण विद्युतदाबावर ठेवतात. तसेच निर्वातीकरणानंतर त्यात हिलीयम वायू भरतात. हिलीयम वायूचे अणू जेव्हा तारेच्या टोकावर पडून ते धनभारित होतात तेव्हा लगेचच ऋणभारित पडद्याकडे आकर्षिले जातात. तारेवर ज्या ठिकाणी ते विद्युतभारित होतात त्या ठिकाणाची ते जणू माहितीच घेऊन जातात. त्यामुळे पडद्याच्या ज्या भागावर हिलीयमच्या विद्युतभारित अणूंचा वर्षाव होतो तो भाग जास्त देदीप्यमान दिसतो. तर जिथे कमी अणू पडतात तो भाग कमी प्रकाशित दिसतो. तारेवरील अणूंच्या प्रतिमा अशाप्रकारे पडद्यावर तयार होतात. तार आणि पडदा यांत काही सेंटीमीटरचे अंतर असल्यामुळे दोन अणुंमधील अंतर, कोन, त्यांच्यामधील प्रमाणबद्धता हे सर्व काही ह्या सूक्ष्मदर्शकांमुळे अभ्यासिता येते.

अशा प्रकारे प्रभारित अणुसूक्ष्मदर्शक वापरून सन १९६५ पर्यंत खूपच संशोधन झाले. वेगवेगळे पदार्थ, त्यांतील अणूंच्या रचना पदार्थविज्ञानात काम करणाऱ्या शास्त्रज्ञांना खूप काही शिकवून गेले. परंतु अणुसूक्ष्मदर्शकाच्या वापरात काही बंधने आपोआपच येतात. उदा. ज्या पदार्थातील अणू पाहायचे ते पदार्थ 'तार' ह्या स्वरूपात असायला हवेत. हे नेहमी शक्य होईलच असे नाही. केवळ धातूंच्याच तारा असू शकतात. शिवाय ह्या पदार्थावर, तारेवर धन विद्युतभार असणे आवश्यक असल्याने तो धातू असणे आवश्यक असते. शिवाय तारेचे तापमानही नेहमी कमी असावे लागते. साध्या सूक्ष्मदर्शकाप्रमाणे तो वापरायलाही सोपा नाही.

अलीकडेच असे काही विशिष्ट इलेक्ट्रॉन सूक्ष्मदर्शकही विकसित करण्यात आले आहेत की ज्यांच्याद्वारे अणू दिसू शकतील. अशा सूक्ष्मदर्शकांत आणि काचेच्या भिंगाचा वापर करून तयार केलेल्या सूक्ष्मदर्शकांत विलक्षण साम्य आहे. इलेक्ट्रॉन सूक्ष्मदर्शकांत प्रकाशाचे जागी इलेक्ट्रॉनचे स्रोत वापरतात आणि काचेच्या भिंगाच्या जागी विशिष्ट प्रकारची विद्युत चुंबकिय भिंगे असतात. इलेक्ट्रॉन अतिशय वेगाने पदार्थावर पडतात. सुमारे ५ ते ५० किलो व्होल्ट विद्युत दाब वापरून जर इलेक्ट्रॉन्सचा वेग वाढविला तर साधारणतः पदार्थाचा पृष्ठभाग अभ्यासिता येतो. परंतु सुमारे १०० ते १००० किलो व्होल्ट विद्युतदाब वापरला आणि पदार्थ अतिशय पातळ वापरला तर अणूंच्या प्रतिमा निर्माण करता येतात. मात्र इलेक्ट्रॉनवर ऋण विद्युतभार असल्यामुळे पदार्थ धातूचा असायला पाहिजे तसेच तो पातळ असायला पाहिजे ही बंधने येतातच.

त्यामुळे बरेच शास्त्रज्ञ अणु पाहण्याचा अन्य मार्ग आहे काय यावर सतत विचार

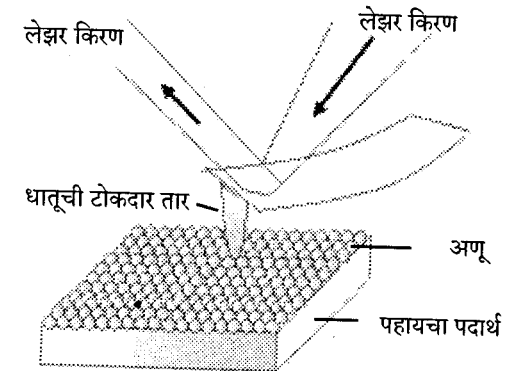
करीत होते. बऱ्याच कालांतराने म्हणजे सन १९८३ मध्ये हा बिकट प्रश्न सुटला. बिर्निंग आणि न्योहरर ह्या दोन शास्त्रज्ञांनी स्वित्झर्लंडमधील सुप्रसिद्ध आय.बी.एम. ह्या कंपनीच्या संशोधन विभागात अगदी नवीन कल्पनेवर आधारित सूक्ष्मदर्शक तयार केला.



अणू सूक्ष्मदर्शक
(आकृती क्र. ४)

ह्या सूक्ष्मदर्शकाला अणू सूक्ष्मदर्शक असे म्हणतात. ह्या यंत्राचे वैशिष्ट्य म्हणजे ज्या पदार्थातील अणू पहायचे तो सपाट (डोळ्याच्या दृष्टीने) पृष्ठभागाचे रूपात घेता येतो. एक सूक्ष्म अणुकुचीदार तार येथेही वापरली जाते. मात्र तारेचा वापर येथे जरा वेगळ्या पद्धतीने केला जातो. ज्या पदार्थातील अणूंचा अभ्यास करावयाचा त्या पदार्थापासून सुमारे १ ते २ नॅनोमीटर अंतरावरून ही तार सरळ रेषेत फिरवितात. तार आणि पदार्थ या मध्ये अतिशय सूक्ष्म विद्युतवहन होते. हे विद्युतवहन पदार्थ आणि तारेच्या अंतरावर अवलंबून असते. पदार्थातील अणूंच्या आकारामुळे तयार होणारा पृष्ठभागावरील सूक्ष्म उंच-सखल भागसुद्धा विद्युतवहनाचे प्रमाण कमी-अधिक करतो. उलटपक्षी विद्युतवहन कमीअधिक झाल्यास दोघांतील अंतर बदलते. ह्या दोन्हीतील कोणत्याही एका प्रकाराचा वापर करून अणूंच्या प्रतिमा निर्माण करता येतात. ह्या सूक्ष्मदर्शकाने शास्त्रीय जगात एक मोठी खळबळच माजवली. अभ्यासाचा पदार्थ हा तारेच्या स्वरूपातच असायला पाहिजे हे प्रभारित अणुसूक्ष्मदर्शकाचे बंधन दूर झाले. तसेच ह्या सूक्ष्मदर्शकासाठी पदार्थ किंवा तार निर्वात जागेत ठेवण्याचीही आवश्यकता नाही. त्यामुळे शास्त्रज्ञांना खूप वेगवेगळे पदार्थ त्यांच्या अणुपर्यंत जाऊन अभ्यासिता येतील असे वाटू लागले. दुर्दैवाने

येथेही थोडी अडचण आली. ती म्हणजे ज्याचा अभ्यास करावयाचा तो पदार्थ विजेचा वाहक (धातू) किंवा कमीत कमी अर्धवाहक असणे जरूरीचे ठरते. परंतु वरील अनुभवाने त्याच शास्त्रज्ञांनी लगेचच दुसरे सूक्ष्मदर्शक यंत्र बनविले. ह्याला अणुबल सूक्ष्मदर्शक म्हणता येईल. येथे देखील टोकदार तार अभ्यासाच्या पदार्थावरून फिरवली जाते. परंतु तार आणि पदार्थांमध्ये वाहू शकणाऱ्या विद्युत-वहनाचा उपयोग न करता येथे तार आणि पदार्थांतील अणूंच्या कर्षण-प्रत्याकर्षणाचा उपयोग केला जातो. काही ठराविक अंतरापर्यंत अणू एकमेकांकडे आकर्षित होतात परंतु अधिक जवळ आल्यावर प्रत्याकर्षणाला सुरुवात होते. थोडक्यात म्हणजे कर्षण किंवा प्रत्याकर्षण हे केवळ अणूंमधील अंतरावरच अवलंबून आहे. कर्षण-प्रत्याकर्षण हे अणूबलात मोजणे आणि त्यावरून अणूंच्या प्रतिमा निर्माण करणे हे अणुबलसूक्ष्मदर्शकाचे काम. त्यासाठी इरिडियमसारख्या धातूची तार एका लवचिक सूक्ष्म पट्टीवर बसवितात. सूक्ष्मपट्टीच्या मागच्या बाजूवर लेझर किरणांचा झोत टाकून त्याचे परावर्तन एखाद्या प्रकाश संवेदनाशील उपकरणाद्वारे पाहिले जाते. तार जेव्हा पदार्थावरून फिरवितात तेव्हा पदार्थाच्या पृष्ठभागावरील अणूंच्या उंच-सखलतेमुळे अणूंमधील बलाकर्षणात बदल घडतो. हा बदल लवचिक पट्टीवर परिणाम करतो, जो लेझर किरणांच्या परिवर्तनावर परिणाम करतो. अशाप्रकारे अणूंच्या रचनेबद्दल अनुमान बांधता येते. अशाच धर्तीवर इतरही अनेक सूक्ष्मदर्शक यंत्रे आता विकसित झालेली आहेत.



अणुबल सूक्ष्मदर्शक
(आकृती क्र. ५)

नॅनो तंत्रज्ञानात अणु-रेणू पाहू शकण्यास फारच महत्त्व आहे. त्यामुळे अणु-रेणू दाखवू शकणारे सूक्ष्मदर्शक तयार झाल्यावर नॅनोतंत्रज्ञान खऱ्या अर्थाने सुरू झाले. अशा सूक्ष्मदर्शकांच्या सहाय्याने अणु-रेणूंच्या योग्य रचनासुद्धा करणे शक्य आहे. त्यामुळे नॅनो यंत्रे बनविणे शक्य झाले आहे.

नॅनो पदार्थ तयार करण्याच्या पद्धति

सुमारे १ ते १०० नॅनोमीटर आकाराचे पदार्थ नॅनोशास्त्राच्या दृष्टीने महत्त्वाचे आहेत. ज्यावेळी पदार्थांचे आकार ठराविक नॅनोमीटर आकारापेक्षा लहान होतात, त्यावेळी त्यांचे गुणधर्म एकाएकी बदलू लागतात. उदाहरणार्थ पदार्थांचे रंग, विद्युतवाहन शक्ती, उष्णतावाहन शक्ती, प्रकाशपरिवर्तन शक्ती, चुंबकीय गुणधर्म वगैरे त्यांच्यात समाविष्ट असलेल्या अणु-रेणूंचे अवलंबून असतात. सोने म्हटले की त्याचा पिवळा रंग डोळ्यासमोर येतो तर तांबे म्हटल्यावर त्याचा तांबूस रंग! मात्र तांब्याची छोटी तार असो किंवा तांब्याचे मोठे भांडे. तांबे ते तांबेच असे आपण सामान्यतः मानतो. पण समजा, आपण तांब्याचे लहान तुकडे करीत गेलो तर काय होईल ? काही मीटरपासून, सेंटीमीटरपर्यंत, सेंटीमीटरपासून मिलीमीटरपर्यंत किंवा अगदी मिलीमीटरपासून मायक्रोमीटर लांबीचे तुकडे जरी आपण करीत गेलो तरी तांब्याच्या गुणधर्मात काही फरक पडणार नाही. तांबे ते तांबेच म्हणावे लागेल. मात्र नॅनोमीटर आकाराचे तांब्याचे कण तांब्याच्या नेहमीच्या गुणधर्मासारखे असणार नाहीत. सूक्ष्मपदार्थ अभ्यासताना शास्त्रज्ञांना याची जाणीव झाली. शास्त्रज्ञांनी अगदी सूक्ष्म, मायक्रोमीटर आकाराच्या पदार्थांचे गुणधर्म अभ्यासिले आहेत. त्यासाठी वेगवेगळी उपकरणे, यंत्रेही तयार केली आहेत. त्यामुळेच त्यांना इलेक्ट्रॉनिक्स क्षेत्रात २० व्या शतकात प्रचंड विस्मयकारक प्रगति घडवून आणता आली. हे शक्य झाले तक्षणाकृति अथवा लिथोग्राफी ह्या तंत्रज्ञानामुळे.

पदार्थांचे लहान लहान तुकडे करण्याच्या पद्धतीला तक्षणाकृति (लिथोग्राफी) असे म्हणतात. नॅनो आकाराचे पदार्थ, यंत्रे तयार करण्याचा एक मार्ग म्हणजे तक्षणाकृति वापरणे. गेल्या काही दशकांपासून तक्षणाकृति तंत्रज्ञानाचा वापर करून मायक्रॉन किंवा मायक्रोमीटर आकाराचे पदार्थ तयार करण्याचे तंत्र मोठ्या प्रमाणात विकसित झाले आहे. त्याचबरोबर अणु-रेणूंची जुळवणूक करून पदार्थ तयार करण्याच्याही अनेक पद्धती विकसित झालेल्या आहेत.

खालील सदरात तक्षणाकृति (लिथोग्राफी) आणि अणु-रेणूंच्या जुळवणूक करून

सूक्ष्म पदार्थ तयार करण्याच्या पद्धतींचा विचार करू या!

तक्षणाकृति (लिथोग्राफी)

एखादी वस्तू लहान करण्यासाठी आपण तिचे तुकडे करतो. झाड कापायचे तर आपण छोटी कुऱ्हाड घेतो. भाजी कापायची तर विळी किंवा सुरी घेतो. नखं कापायचे तर छोटी कात्री घेतो. सुरी किंवा कुऱ्हाड घेत नाही ! म्हणजे वस्तू जितकी लहान तितकी कात्रीही लहान असावी. अति सूक्ष्म पदार्थ कापण्यासाठी त्यामुळे अति नील किरण, क्ष किरण, प्रभारीत अणु किंवा इलेक्ट्रॉन्स वापरता येतात. किरणांचा वापर करून मिलीमीटरपेक्षा लहान पदार्थ कापण्याच्या या पद्धतीस तक्षणाकृति असे म्हणतात. लिथो म्हणजे दगड, दगड कोरण्याची पद्धती म्हणजे लिथोग्राफी किंवा तक्षणाकृति ! साधारणतः १०० नॅनोमीटर पेक्षा मोठे तुकडे करणे तक्षणाकृतिने सहज शक्य होते. तर १०० नॅनोमीटरपेक्षा थोडे लहान जमू शकते. मात्र शंभर नॅनोमीटरपेक्षा लहान आकार कोरून काढणे क्ष किरण किंवा इलेक्ट्रॉन्स वापरून जरा कठीणच जाते. मात्र अगदी अलीकडे तयार झालेल्या अणू सूक्ष्मदर्शकाचा वापर करून नॅनो तक्षणाकृति सुद्धा करतात. त्यामुळे काही नॅनोमीटर लहान तुकडे मिळविणे शक्य होते.

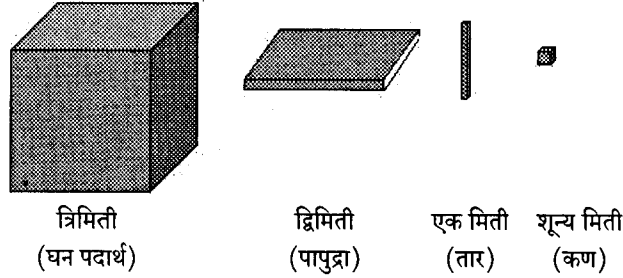
मायक्रो किंवा नॅनो आकाराच्या यंत्रांचा तक्षणाकृतिच्या तंत्राने केलेला विकास ही एकविसाव्या शतकात फार उल्लेखनीय गोष्ट ठरणार आहे. तक्षणाकृति हे अवघड व खर्चिक तंत्रज्ञान असले तरी एकदा का ह्या यंत्राचा जम बसला की नंतर फारच कमी खर्चात उत्पादन होऊ शकते. एकसारख्या प्रति निर्माण करायच्या असल्यामुळे हे काम जलद आणि यंत्राव्दारे स्वस्तही करता येते. याशिवाय एरवी तयार होऊ शकणाऱ्या विद्युत यंत्राशिवाय अगदी नवीन यंत्रे तयार होऊ शकतात. त्यामुळेच अनेक क्षेत्रांत मायक्रोमीटर आणि नॅनोमीटर आकाराची एका छोट्या तुकड्यावर बसविलेली विद्युतयंत्रे लोकप्रिय होत आहेत.

मात्र अणु - रेणूंपासून सुरुवात करून मोठ्या मायक्रोमीटर किंवा काही मिलीमीटर पदार्थांच्या रचना, यंत्रे करणे हा नॅनोतंत्रज्ञानाचा मोठा कार्यक्रम ठरणार आहे.

अणु - रेणूंच्या जुळवण्या

नॅनो आकाराची यंत्रे तयार करण्यासाठी अर्थातच नॅनो आकारांचे धातू, अर्धवाहक किंवा पूर्ण विद्युतरोधक पदार्थ आवश्यक आहेत. तसेच पदार्थ सूक्ष्म करण्याचा

तक्षणाकृति हा एक मार्ग असला तरी त्यातही बऱ्याच अडचणी आहेत, तसेच त्या तंत्रज्ञानाच्या काही मर्यादाही आहेत. त्याउलट पदार्थविज्ञान, रसायनशास्त्र, सूक्ष्मप्राणिशास्त्र, धातुशास्त्र आणि संमिश्र शास्त्रांतून अनेक पद्धती या कामासाठी वापरणे शक्य आहे. खरे तर 'नॅनो' शब्द न उच्चारता किंवा 'नॅनो' आकारामुळे पदार्थांचे गुणधर्म कसे बदलतात याचा विचार न करता पूर्वीसुद्धा त्यांचा भरपूर वापर केला गेला आहे. उदाहरणार्थ रंगीबेरंगी काचांचा उपयोग खिडक्यांसाठी कित्येक शतके केला गेला आहे. काच तयार करताना त्यांत सोने, तांबे, कोबाल्ट, निकेल वगैरेचे अतिसूक्ष्म कण तयार झाल्यास काचेला विविध रंग प्राप्त होतात. रसायनशास्त्रात वेगवेगळ्या रासायनिक क्रिया काही सूक्ष्म कणांच्या सान्निध्यात जलद होतात. थोडक्यात म्हणजे नॅनोपदार्थ करण्याच्या काही कृतिदेखील फार पुरातन आहेत. मात्र आता शास्त्रज्ञ-तंत्रज्ञ त्या हेतुपुरस्सर वापरत आहेत.



(आकृती क्र. ६)

नॅनोपदार्थ तयार करताना पदार्थांच्या मितींचाही विचार करावा लागतो. जेव्हा पदार्थ बरेच मोठे (नॅनोमीटरच्या तुलनेत) असतात तेव्हा त्यांना काही लांबी - रुंदी - उंची असते. अशा पदार्थांना त्रिमिती आहे असे आपण म्हणतो. आकृती क्र. ६ मध्ये दाखविल्याप्रमाणे एक मिती काढून टाकली तर द्विमितीचा 'पापुद्रा' तयार होईल, तर आणखीन एक मिती काढून टाकली तर 'तार' तयार होईल. मात्र तारेचेही तुकडे करून फक्त नॅनो आकाराचा तुकडा तयार केला तर शून्य मितीचा 'कण' तयार होईल.

नॅनोयंत्रांत शून्य, एक आणि दोन मितींचे पदार्थ वेगवेगळ्या कारणांसाठी वापरतात.

पदार्थविज्ञानात तसेच इलेक्ट्रॉनिक्समध्ये अनेक ठिकाणी, अनेक कारणांसाठी

अतिशय शुद्ध पदार्थांचे पापुद्रे लागतात. निर्वात उपकरणांमध्ये असे पापुद्रे काच, सिलिकॉन, तांबे वगैरे धातू यांवर काही विशिष्ट पद्धतींनी अणुंचा थर देऊन तयार करतात. त्यासाठी इच्छित पदार्थ तापवून किंवा काही विद्युतभार असलेल्या अणूंच्या सहाय्याने मूळ पदार्थापासून सुटे करून त्यांची जणू वाफच करतात. ही वाफच परत उपकरणात थंड पृष्ठभागावर जमा होते. त्यातील काही अणू इच्छित पदार्थावर जमा होतात आणि नंतर वापरता येतात. अशाच पद्धतीचा वापर करून द्विमिती असलेले नॅनोपदार्थ तयार करतात. मात्र द्विमिती असणाऱ्या पापुद्र्यांचे एकमिती किंवा शून्य मितीमध्ये परिवर्तन घडविण्यासाठी तक्षणाकृतिचा आधार घ्यावा लागतो. काही विशिष्ट पद्धतीचा वापर करून की, जेणे करून अणु-रेणु ठराविक ठिकाणीच जाऊन चिकटतील, फार अणू एकत्र येऊन त्रिमिती घन पदार्थ तयार होणार नाहीत असेही मार्ग शास्त्रज्ञांनी शोधले आहेत.

परंतु या वरील पद्धतींमध्ये पदार्थांची वाफ करण्यात बराच पदार्थ वाया तर जातोच पण विशिष्ट यंत्ररचनेसाठी वापर करायचा असेल तर पदार्थावर आणखीन काही क्रिया करणे आवश्यक होते. त्यावर वैचारिकदृष्ट्या अगदी सोपा मार्ग शास्त्रज्ञांनी शोधला आहे !

टोकदार तारेचा वापर केल्या जाणाऱ्या अणू सूक्ष्मदर्शकाचा वापर करताना शास्त्रज्ञांना असे आढळून आले की सूक्ष्म टोकदार तार बऱ्याच वेळा पृष्ठभागावरून फिरत असताना काही अणुंना खेचत नेते. त्याचा युक्तिने वापर करून शास्त्रज्ञांनी प्रथम गंमत म्हणून अणूंच्या सहाय्याने प्रथम काही अक्षरे लिहिली आणि नंतर हव्या त्या तऱ्हेने त्यांना एकत्र करण्यास सुरुवात केली. अशा तऱ्हेच्या अणुरचना करणे हे एक नवे तंत्रज्ञान असून भविष्यात त्याचा भरपूर उपयोग केला जाईल.

साधेच पहा ना. अणू जर एकापुढे एक असे आपण ठेवत गेलो तर त्यापासून अणूंची ब्रार बनेल. अशा अनेक तारा एकाशेजारी एक ठेवल्या तर त्यापासून पृष्ठभाग तयार होईल. असे अनेक पृष्ठभाग एकावर एक ठेवत गेल्यास त्यापासून घन पदार्थ तयार होईल ! उघडच आहे की अशा पद्धतीने अति अति सूक्ष्म पदार्थच तयार करणे सध्यातरी शक्य आहे. अर्थातच सर्वच पदार्थ 'नॅनो' करून चालणार नाही. काही वेळा 'मायक्रो'पण लागतीलच. शिवाय नॅनो जरी लागले तरी एकावेळी अनेक नॅनोची आवश्यकता भासेल! त्यासाठी ते भरभर होणेही आवश्यक आहेच.

शास्त्रज्ञांनी याचाही विचार केला आहे. गेल्या १-२ वर्षांतच 'डिप-पेन नॅनो लिथोग्राफी' नावाचे तंत्रज्ञान विकसित होऊ लागले आहे.

शार्ईत पेन बुडवून लिहण्याप्रमाणेच अणू सूक्ष्मदर्शकाचे किंवा अणुबल सूक्ष्मदर्शकाचे अणुकुचीदार टोक रेणू उचलून घन पदार्थावर ठेऊ शकतो किंवा लिहू शकतो ! एक प्रकारचे अणू-रेणू किंवा टोकदार तारेचे एकच टोक वापरण्याच्या मर्यादाही सहज दूर हाऊ शकतात ! एकाच यंत्रात अनेक प्रकारच्या अणुकुचीदार टोकांचा आणि द्रव्यांचा वापर करून अणुरेणूंच्या हव्या त्या रचना करणे शक्य आहे ! अशा पद्धतीने एका टोकाच्या सहाय्याने सुद्धा सध्या २-३ मिनिटांत १ मायक्रोमीटर x १ मायक्रोमीटर एवढ्या (मोठ्या!) जागेवर अणुरेणू जमा करणे शास्त्रज्ञांना जमले आहे. त्यामुळे अतिसूक्ष्म इलेक्ट्रॉनिक यंत्रे बनविण्यासाठी मेम्स (मायक्रो इलेक्ट्रो मेकॅनिकल सिस्टिम्स) ज्यामध्ये तक्षणाकृति या तंत्रज्ञानाचा वापर केला जातो, त्याप्रमाणे नॅनो इलेक्ट्रो मेकॅनिकल सिस्टिम अथवा 'नेम्स' तंत्रज्ञानही लवकरच अस्तित्वात येऊ शकेल.

अति अति सूक्ष्म किंवा शून्य मिती असलेले कण, एक मिती असलेली अणु किंवा रेणूंची तार किंवा दोन मिती असलेला पृष्ठभागासारखा पातळ असे पदार्थ तयार करण्यात शास्त्रज्ञ यश मिळवत असेल तरीदेखील त्यांचे त्रिमिती घन स्थित्यंतर न होऊ देणे हे फार महत्त्वाचे आहे. त्यासाठी वेगवेगळ्या उपाययोजना केल्या जातात. अतिअतिसूक्ष्म कणांच्या पृष्ठभागावर कार्बीय रेणूंचा वापर करून त्यांचे माप वाढण्यापासून थांबवता येते. कार्बीय रेणू छोट्या, लांब साखळ्या किंवा तारांच्या रूपांत असू शकतात. कार्बीय रेणू दोन सूक्ष्म कणांना एकत्र येण्यापासून आणि मोठ्या होण्यापासून रोखतात. त्याचबरोबर ते स्वतः एकमेकांत मात्र मिसळत नाहीत. कमी अधिक लांबीचे कार्बीय रेणू वापरून कणांमध्ये ठराविक अंतर ठेवणेही शक्य होते. तसेच कणांमध्ये असे अंतर ठेवणे शक्य असते की, ज्या योगे त्यांच्यात इलेक्ट्रॉन्सची देवाण-घेवाण होऊ शकते. त्यामुळे अर्थातच नवीन प्रकारची यंत्रे तयार करता येतात. कार्बीय रेणूमुळे अति सूक्ष्म कण सुद्धा काही विशिष्ट आकृति निर्माण करतात.

रसायनशास्त्राचा वापर करून विशिष्ट: नॅनो कण तयार करण्याच्या अनेक पद्धती आता विकसित केल्या गेलेल्या आहेत. रासायनिक क्रिया करताना वापरलेले द्रव पदार्थ काढून टाकल्यावर त्यांचे पुडीच्या रूपातील पदार्थ वेगवेगळ्या कामांसाठी वापरता येतात. त्यांचे पातळ पापुद्रेसुद्धा तयार करता येतात.

सूक्ष्म कण एकमेकांना जोडणे किंवा एका कणावर दुसऱ्या कणाचा लेप देऊन त्या दोघांपासून वेगळ्या गुणधर्माचा पदार्थ तयार करणे अशा अनेक क्लृप्त्या शास्त्रज्ञ

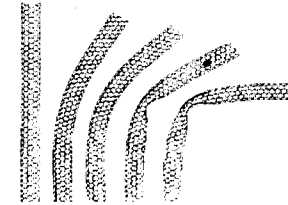
करीत आहेत.

जीवशास्त्रज्ञही नॅनोपदार्थ तयार करण्यात मागे नाहीत. पाणी व तेलाच्या मिश्रणाचा (मायक्रोइमल्शन्सचा) वापर करून सूक्ष्म नॅनो कण तयार करण्याचे तंत्रज्ञान बऱ्याच प्रमाणात विकसित झालेले आहे. त्या पद्धतीचे औषधक्षेत्रात बरेच महत्त्व आहे.

त्यापुढे जाऊन जीवाणूंचा वापर करूनही धातू किंवा अर्धवाहकांचे कण निर्माण करता येतात. त्यामध्ये जीवाणूंच्या रेणू ओळखण्याच्या शक्तीचा उपयोग होतो. उदाहरणार्थ कॅडमिअम धातू पेशींसाठी विषारी असतो. त्यामुळे जीवाणूंच्या पेशीत तो जर शिरला तर जीवाणू त्यापासून स्वतःचे संरक्षण करण्याचा प्रयत्न करतात. त्यासाठी त्यांचा पेशींच्या भिंतीतील सल्फर कॅडमिअमशी रासायनिकरित्या संयोग पावतो आणि त्या योगे कॅडमिअम सल्फाईड तयार होते. हे कॅडमिअमपेक्षा जरा कमी विषारी ठरते. तसेच पेशीमधील प्रथिनेही कॅडमिअम सल्फाईडच्या कणांवर स्वतःचे आवरण चढवितात. अशातऱ्हेने जीवाणू सुद्धा अति अति सूक्ष्म नॅनो कण तयार करू शकतात. अजून असे कसे हे शास्त्रज्ञांना समजले नाही. परंतु असे दिसून येते की, जीवाणूंपासून तयार झालेले अति सूक्ष्म कण हे कमालीच्या सारख्या आकाराचे असतात. शिवाय ज्या अणूरचना स्फटिकांत एखाद्या पदार्थासाठी नैसर्गिकरित्या सापडतात त्यापेक्षा वेगळ्या रचना जीवाणू करू शकतात.

डी. एन. ए. किंवा प्रथिनाचा वापर करूनही सूक्ष्म कण, घन कण होण्यापासून रोखता येते. विशेषतः डी. एन. ए. च्या हव्या त्या पद्धतीचे व लांबीचे रेणू असणाऱ्या आणि त्याहून महत्त्वाचे एकमेकांना ओळखण्याच्या गुणधर्मांमुळे सूक्ष्मकणांच्या विशिष्ट रचना करून त्यांचे घनसदृश्य परंतु नॅनोपदार्थांचे गुणधर्म असणारे पदार्थ तयार करणे शक्य होत आहे.

नॅनो कण त्यांचे पापुद्रे त्याप्रमाणेच कार्बन किंवा इतर पदार्थांपासून बनविलेल्या 'नॅनो' नळ्या, हाही संशोधन क्षेत्रातला सध्याचा अतिशय महत्त्वाचा विषय आहे. कार्बनच्या अतिसूक्ष्म नळ्या तयार करणे, त्यांचे गुणधर्म ठरविणे आणि त्यावरून त्यांच्या वापराची क्षेत्रे निश्चित करणे हे ह्या अभ्यासात समाविष्ट आहे.



कार्बनच्या नॅनो नळ्या
(आकृती क्र. ७)

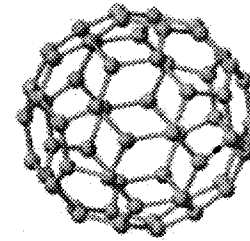
आतापर्यंतच्या संशोधनातून असे दिसून आले की कार्बनचे अणु षट्कोनांवर विखुरलेले असतात आणि विशिष्ट रासायनिक पद्धतीने कार्बनयुक्त रेणूंच्या काही पदार्थांच्या पृष्ठभागावर कार्बन नळ्यांची वाढ करणे शक्य होते. एखाद्या मोठ्या डब्यात जसे लहान डबे एकात एक बसवता येतात तशा पद्धतीने ह्या नळ्या एकात एक तयार होतात. किंवा आकृती क्र. ७ मध्ये दाखविल्याप्रमाणे एकरी भिंतीच्या आणि लवचीकही होऊ शकतात. ह्या नळ्यांची लांबी काही मिलीमीटर असू शकते तर त्यांचा व्यास केवळ काही नॅनोमीटर असतो.

केवळ पोलादापेक्षा कठिण असणे हा कार्बन नळ्यांचा एकमेव विशेष गुण नसून त्यांच्यात इतरही वैशिष्टपूर्ण गुण आहेत. ह्यांची विद्युतवहन शक्ती तांबे, चांदी किंवा सोने ह्यांहून खूप जास्त आहे. त्यामुळे त्यांचा उपयोग अति अति सूक्ष्म विद्युत जाळ्यांसाठी होऊ शकतो. एखाद्या तारेप्रमाणे कार्बन नळ्या वापरणे सहज शक्य आहे.

काही नव्या प्रकारचे दिवे, दूरचित्रवाणी संच, संगणक ह्यांमध्ये कार्बन नळ्यांचा वापर करून पाहिला जात आहे आणि लवकरच बाजारात कार्बनच्या सूक्ष्म नळ्या वापरलेली यंत्रे उपलब्ध होण्याची दाट शक्यता वाटत आहे. कार्बनच्या अतिसूक्ष्म नळ्यांचा शोध लागण्यापूर्वी शास्त्रज्ञांना अचानक एका वेगळ्या प्रकारच्या मोठ्या रेणूचा शोध लागला. त्या आणि तत्सम रेणूंना फ्युलरिन्स असे म्हणतात. फ्युलरिन्सच्या शोधाची गोष्ट मनोरंजक आहे. क्रोटो नावाचे एक ब्रिटिश शास्त्रज्ञ अंतरिक्षात आढळणाऱ्या काही कार्बन रेणूंचा अभ्यास करीत होते. प्रयोगशाळेत असेच रेणू निर्माण करणे त्यांना जरीचे वाटत होते. जीवसृष्टीच्या उगमाच्या अभ्यासाच्या दृष्टीने तो एक महत्वाचा टप्पा ठरतो. एका शिखरपरिषदेत क्रोटो यांना समजले की, त्यांना हवी असणारी यंत्रसामग्री अमेरिकेतील राइस विद्यापीठातील प्राध्यापक स्मॉले यांच्याकडे आहे. अशाप्रकारच्या केवळ दोनच प्रयोगशाळा १९८१ मध्ये अस्तित्वात होत्या.

प्राध्यापक क्रोटो आणि प्राध्यापक स्मॉले ह्यांनी जेव्हा कार्बन रेणूंची निर्मिती करावयाची ठरविली त्यावेळी त्यांना कल्पनाही नव्हती की त्यांचे संशोधन एक दिवस भौतिक आणि रासायनिक शास्त्रांत खळबळ माजवेल ! त्यांच्या प्रयोगात लेझर किरणांच्या सहाय्याने ग्राफाइटचे बाष्पीभवन करून त्यात तयार होणाऱ्या रेणूंचे एका विशिष्ट उपकरणाद्वारे वस्तुमान विश्लेषण करावयाचे होते. त्यांच्या प्रयोगात त्यांना वारंवार असे दिसू लागले की केवळ ६० अणूंचे रेणू पुनःपुनः तयार होत

आहेत. केवळ कार्बनच्या ६० अणूंचा रेणू हे जरा अजबच होते. कार्बनचा एवढा मोठा रेणू तोपर्यंत शास्त्रज्ञांच्या माहितीत नव्हता. त्यामुळे झाले काय की जो रेणू मुळात करावयाचा होता तो राहिला बाजूला आणि स्मॉले यांची पूर्ण प्रयोगशाळा व क्रोटो समजून घेण्यामागे लागले की, ६० अणूंचा रेणू असावा तरी कसा ! सतत दोन आठवडे, रात्रंदिवस शास्त्रज्ञ आपापसात चर्चा करीत होते परंतु काही समाधानकारक उत्तर सापडत नव्हते ! अचानक क्रोटो ह्यांना त्यांनी काही वर्षांपूर्वी कॅनडात पाहिलेल्या एका औद्योगिक प्रदर्शनाची आठवण झाली. त्या प्रदर्शनात त्यांनी एक भलामोठा पोलादी तंबू पाहिला होता. प्रसिद्ध अमेरिकन वास्तुविशारद बकमिन्स्टर फ्युलरिन यांनी तो आखला होता. त्याच्या पृष्ठभागावर षट्कोन तसेच पंचकोन होते. क्रोटो यांच्या घरी त्या तंबूची प्रतिकृति होती. त्यांनी लगेच बायकोला फोन करून विचारले तर तिने त्या प्रतिकृतीवर काही पंचकोन आणि काही षट्कोन असल्याची खात्री दिली. क्रोटो आणि त्यांच्या सहकाऱ्यांनी ताबडतोब पुढ्यांची एक आकृती बनविली. चेंडूच्या त्या आकृतीच्या पृष्ठभागावर त्यांनी बरोबर १२ पंचकोन आणि २० षट्कोन बसविले. ते बसविण्याची पद्धती अशी होती की प्रत्येक पंचकोनाची आणि षट्कोनाची एक बाजू सामाईक होती. अशा आकृतीला बरोबर साठ अग्रबिंदू होते. प्रत्येक अग्रबिंदूवर एक-एक अणु ठेवल्यावर साठ अणूंची हवी होती ती बंद आकृती तयार झाली. (फार पूर्वी १९ व्या शतकात स्वित्झर्लंडमधील एक गणिती, ऑयलर याने असे दाखवून दिले होते की १२ पंचकोन आणि काही षट्कोन वापरून बंद आकृती बनविता येते.) फ्युलरिन यांच्या सन्मानार्थ कार्बनच्या अशा रेणूंचे नाव 'फ्युलरिन' असे ठेवण्यात आले. पुढे क्रोटो, कर्ल आणि स्मॉले यांना फ्युलरिन्सच्या संशोधनाबद्दल नोबेल पारितोषिकही मिळाले.



कार्बनच्या साठ अणूंचा रेणू
(आकृती क्र. ८)

ते काही असले तरी क्रोटो आणि स्मॉले यांच्या नावाचा खूपच बोलबाला झाला. हे होते सन १९८३. पुढे काही वर्षे गेली आणि असे वाटू लागले की फ्युलरिन्सच्या प्रयोगांतून पुढे काही निघणार नाही. याचे कारण मुळात असे होते की त्या प्रकारच्या ६० अणूंच्या रेणूत रूपांतर करण्याच्या प्रयोगात एक फार मोठी कमतरता होती. फ्युलरिन्सचे अस्तित्व प्रयोगांतून समजत होते. परंतु काही मिलिग्रॅम नव्हे तर मायक्रोग्रॅम एवढी पूड देखील त्या प्रयोगांद्वारे मिळत नव्हती. त्यामुळे साध्या साध्या वाटणाऱ्या उदाहरणार्थ त्यांचा रंग काय, विद्युतवहन शक्ति किती अशा प्रश्नांची उत्तरे देखील देता येत नव्हती. बरेच प्रयत्न करूनही फ्युलरिन्स जास्त प्रमाणावर मिळत नव्हते. असाच काही काळ गेला आणि फ्युलरिन्सबद्दल एक प्रकारची उदासीनता निर्माण झाली. आणि अचानक, अमेरिकेतील ह्युफमन आणि जर्मनीतील क्रेटश्मूर ह्या दोन शास्त्रज्ञांच्या लक्षात आले की त्यांच्या एका प्रयोगात ते खूप मोठ्या प्रमाणात साठ कार्बनचे रेणू तयार करीत होते. त्यांच्या पूर्वीच्या काही प्रयोगात त्यांना काही गोष्टी स्पष्ट करता येत नव्हत्या त्या फ्युलरिन्सच्या रेणूचे अस्तित्व मानून समजाविता येत होत्या.

त्यामुळे १९९० च्या मे महिन्यात ह्युफमन आणि क्रेटश्मूर ह्यांनी जेव्हा त्यांचा फ्युलरिन्स तयार करण्याचा तपशील जाहीर केला तेव्हा शास्त्रीय जगतात प्रचंड उत्साहाची लाट उसळली. कारण जगातील कोणत्याही सर्वसाधारण प्रयोगशाळेत हा प्रयोग करणे सहज शक्य होते. आमच्या प्रयोगशाळेतही आम्ही यशस्वीरित्या फ्युलरिन्स तयार केले. ग्राफाइटच्या दोन नळ्यांमध्ये हिलिअम वायूच्या सानिध्यात जर विद्युतप्रवाह वापरून ठिणगी निर्माण केली तर ग्राफाइट जळू लागतो आणि आजूबाजूच्या थंड पृष्ठभागावर परत जमा होऊ लागतो. ही काजळी जमा केली तर कोळश्याप्रमाणे काळी दिसते. परंतु जर ती बेन्झीनसारख्या द्रावात मिसळली तर रंगहीन बेन्झिन ताबडतोब गडद लाल, जांभळट, हिरवे किंवा पिवळ्या रंगाचे होते. कोणता रंग तयार होईल ते फ्युलरिन्सचे कोणते रेणू तयार होतील यावर अवलंबून असते. ह्युफमन आणि क्रेटश्मूर यांच्या फ्युलरिन्स तयार करण्याच्या पद्धतीमुळे कार्बनच्या ६० अणूंच्या रेणूंप्रमाणे ७०, ७६, ७८ अशा मोठ्या अणु संख्येचे रेणू देखील तयार होऊ शकले ! काही रासायनिक पद्धतींनी त्यांना एकमेकांपासून वेगळे करून केवळ ६०, ७० किंवा अधिक अणूंचे रेणू मिळविणे शक्य होते. आता काही ग्रॅममध्ये सुद्धा फ्युलरिन्सची शुद्ध पूड मिळवणे शास्त्रज्ञांना शक्य आहे.

नॅनो कण, तारा, पापुद्रे तयार करण्याच्या प्रगतिबरोबर नॅनो छिद्रे असणाऱ्या

काही पदार्थांचा उल्लेख करणेही येथे योग्य ठरेल. काही विद्युतरासायनिक पद्धतीचा वापर करून सिलिकॉनमध्ये केवळ इलेक्ट्रॉन किंवा अणुबल सूक्ष्मदर्शकाखाली दिसू शकतील अशा छिद्रांच्या निर्मितीचा उद्योग मागील दशकात शास्त्रज्ञांनी केलेला आहे. अशा पद्धतीच्या छिद्रांमुळे जाळे तयार होते ते नॅनो आकाराच्या पदार्थांचे असते. ह्या जाळ्यामुळे सिलिकॉनचे गुणधर्म बदलून एक वेगळाच पदार्थ निर्माण होतो ! त्याचा विशेषतः सौर वीज निर्मितीच्या कामात उपयोग होऊ शकतो.

सिलिकॉनच्या संयुगाचा वापर करूनही एक अतिशय हलका, पारदर्शक आणि अत्यंत जाळीदार पदार्थ मागील शतकाच्या अगदी सुरुवातीलच एका फ्रेंच शास्त्रज्ञाने बनविला. त्याला 'एअरोजेल' असे म्हणतात. बरीच दशके, तो पदार्थ दुर्लक्षित राहिला. त्याचे कारण म्हणजे तो तयार करण्याची पूर्वी वाटत असणारी क्लिष्ट पद्धती. परंतु अलीकडे अंतराळयानाच्या आवश्यकतेचा एक भाग म्हणजे कमी घनतेच्या पदार्थाचा वापर करणे, त्यामुळे एअरोजेल तयार करण्याची आवश्यकता निर्माण झालेली आहे. शिवाय १९३० साली जी पद्धती खूप क्लिष्ट वाटत होती. ती ७०-७१ सालानंतर फारशी अवघड राहिली नाही. तसेच सिलिकॉनच्या संयुगापासून बनविता येणाऱ्या काचेप्रमाणे पारदर्शक एअरोजेलशिवाय अनेक धातू, मिश्रणे ह्यांपासून हलके पदार्थ तयार करता येतात. त्यासाठी प्रथम योग्य ती व योग्य प्रमाणात काही रसायने द्रवरूपात एकत्र करतात. हळूहळू त्यांना एखाद्या मुरंब्यासारखा दाट व लवचिकपणा येऊ लागतो. मुरंबा ज्याप्रमाणे खूप काळ वाळू दिला तर त्याच्यातील द्रवपदार्थ उडून जाऊन तो आक्रसतो व त्याची पूडही होते त्याप्रमाणे ह्या रासायनिक पद्धतीने बनविलेल्या मुरंब्याचे किंवा जेलीचे होते. परंतु काही विशिष्ट पद्धतीने ही जेली वाळल्यास न आक्रसता घन परंतु जाळीदार किंवा सच्छिद्र पदार्थ तयार होतो. अगदी मायक्रोमीटरपासून काही मीटर मोठे एअरोजेल तयार करता येतात. त्यामुळे त्यांचा वापर ठिकठिकाणी होऊ शकतो.

विद्युत रासायनिक पद्धती वापरून इतरही पदार्थांत सूक्ष्म जाळी तयार करता येते. विशेषतः अॅल्युमिनीयमच्या पातळ पत्र्यात मायक्रोमीटर आकाराची एकसारखी सुरेख जाळी पाडता येते. ही जाळी अतिशय कौशल्याने निर्माण केली जाते. नॅनोतंत्रज्ञानात त्यांचा बराच वापर केला जाईल असे वाटते.

अशा तऱ्हेने काही नैसर्गिक व काही कृत्रिम मार्गांनी अणुरेणूंचे कण, तारा, पृष्ठभाग, त्यांचे विशिष्ट आकार तयार करणे, त्या सर्वांचे अभ्यास करणे हे बऱ्याच शास्त्रज्ञांचे ध्येय, स्वप्न आहे.

नॅनो कण ते दृश्य पदार्थ

नॅनो कण, तारा, नळ्या, पापुद्रे तयार करण्याच्या काही पध्दती आपण पाहिल्या. परंतु यातील काही पध्दतींमध्ये, विशेषतः जेथे केवळ द्रवमाध्यमात कण तयार केले जातात तेथे नॅनो कण विशिष्ट पध्दतीने मांडून, त्यांचे मायक्रोमीटर आकारातले आणि त्यापुढेही जाऊन काही मिलीमीटर, सेंटिमीटर आकाराचे पदार्थ करणे वापराच्या दृष्टीने महत्त्वाचे आहे. एकमेकांत न मिसळणारे, ज्यांचा पृष्ठभाग निष्क्रिय केला आहे असे नॅनो कण तयार झाल्यावर त्यांना सच्छिद्र पदार्थात (उदाहरणार्थ सच्छिद्र सिलीकॉन, एअरोजेल) सामाविता येते. काचेतही नॅनोकण तयार झाल्यावर मोठ्या प्रमाणात नॅनोपदार्थ उपलब्ध होतो. पापुद्रेदार किंवा तारेच्या रूपातही पदार्थ मोठ्या आकारात उपलब्ध होऊ शकतात. फ्युलरिन्स, कार्बनच्या नॅनो नळ्या सुद्धा इतर जाड घन पदार्थांवर लेपून वापरता येतात. मात्र त्या सर्वांहून आगळी पध्दत निसर्गात दिसते ती म्हणजे स्वजमाव.

सन १९९० नंतर इतरही काही प्रयोगांमुळे अशी वेळ निर्माण झाली की शास्त्रज्ञ 'रेणू ओळख', (मॉलिक्यूलर रेकगनिशन) 'स्वजमाव (सेल्फ असेम्ब्ली)' असे परवलीचे शब्द वापरू लागले. केवळ जीवशास्त्रज्ञच नव्हे तर रसायन आणि भौतिकशास्त्रज्ञही आता विचार करीत आहेत की खरेच वेगवेगळे अणु एकत्र येऊन रेणू कसे तयार होतात. वेगवेगळ्या अणु - रेणूपासून वायु, द्रव, घन, सजीव - निर्जीव निर्माण होतात. परंतु हे अणु- रेणू एकमेकांना ओळखतात कसे ? कोणच्या शक्तिमुळे ते एकत्र राह्याचे किंवा दूर जायचे ठरवितात ? सर्व जीव आणि वनस्पती विश्व छोट्या छोट्या पेशींपासून बनलेले आहे. वेगवेगळी द्रव्ये त्यांच्यात तयार होतात. इकडे तिकडे जातात. त्यासाठी अतिसूक्ष्म नलिकांचे जाळेही असल्याचे दिसते. वेगवेगळे संदेश शरीराच्या भागात तयार होतात आणि ते ओळखले जातात. काही संदेश शरीरात आपल्याला पत्ता न लागता पोहचतात आणि शरीराचे भाग आपले - आपले काम करीत राहतात.

भौतिक, रसायन, जीवशास्त्रज्ञांतील संशोधक एकमेकांच्या विषयात प्रगल्भ झालेल्या कल्पनांच्या सहायाने स्वतःलाच प्रश्न विचारत आहेत. निसर्गाने आम्हाला कसे निर्माण केले ? त्यासाठी शास्त्रज्ञ प्रयोगशाळांत निसर्गाची नकल करू पाहत आहेत ! हजारो-लाखो वर्षे खर्च करून निसर्गाने प्रकाश, ध्वनी निर्माण करणारी आणि ओळखू शकणारी अगदी सूक्ष्म कार्बनी यंत्रे जी जीवाबरोबर तयार होतात ती

कशी निर्माण केली असतील ! डी. एन. ए. मध्ये हे सर्व काही कसे जपून ठेवले जाते आणि पुढील जीवास पुनरुत्पत्तीसाठी दिले जाते. प्रयोगशाळांत ह्यातील काही करता येईल काय ?

काही विचारवंतांना असा प्रश्न पडू शकतो की नॅनोतंत्रज्ञानात निसर्गाची नकल करून सजीवसृष्टीप्रमाणे नॅनोयंत्रे निर्माण करणे एवढेच ध्येय आहे की काय ? पण तसे नाही ! सजीवसृष्टीतील पेशींना जास्त तापमानाला म्हणजे १०० अंश डिग्री सेल्सियस एवढे तपमान सहन करण्याचीसुद्धा ताकद नसते. धातू मिश्रधातूतील ताकदही त्यांच्यात नाही. संदेशवहनाची शक्ति असली तरी सिलीकॉन, तांबे यांच्यातील विद्युतवहनाची ते बरोबरी करू शकत नाही. शास्त्रज्ञांनी हेही नेमके ओळखले असून, निसर्गातील काही पध्दती आणि काही कृत्रिम पध्दती ज्या बुद्धिवंत मानवाने पिढ्यान् पिढ्या शिकत जाऊन विकसित केल्या आहेत, त्यांची सांगड घालायची ठरवली आहे. त्यासाठीच नॅनो पदार्थांच्या गुणधर्मांवर शास्त्रज्ञांची मोठी भिस्त आहे.

नॅनोपदार्थांचे वैशिष्ट्यपूर्ण गुणधर्म

पदार्थांचे गुणधर्म, उदाहरणार्थ त्यांचा रंग, विद्युतवाहन शक्ती, उष्णता वाहनशक्ती, चुंबकीयशक्ती, प्रकाश परावर्तनशक्ती, प्रकाश शोषून घेण्याची शक्ती व त्यातून आवाज वाहू देण्याची शक्ती हे सर्वकाही त्यांच्यात असलेल्या अणु- रेणूंवर अवलंबून असते. मात्र आधीच उल्लेखल्याप्रमाणे कोणच्याही पदार्थांचे आकारमान, जे त्यांच्यातील अणु-रेणूंच्या प्रकारांवर अवलंबून असते ते ठराविक आकारापेक्षा लहान झाल्यास त्यांचे गुणधर्म आकाराप्रमाणे बदलू लागतात.

अगदी सोपी उदाहरणे म्हणजे पदार्थांचे रंग. चांदीचा रंग पांढरा तर सोन्याचा रंग पिवळा ! परंतु सोन्यासारखी पिवळी दिसणारी केवळ चांदीचे अणु असणारी पिवळी चांदी तर चांदीसारखे दिसणारे पांढऱ्या रंगाचे शुद्ध सोने शास्त्रज्ञ प्रयोगशालांत तयार करीत आहेत. कॅडमिअम सल्फाईड या अर्धवाहकाचा रंग गडद केशरी किंवा तांबूस असतो. परंतु त्याच्या लहान कणांचा रंग मात्र त्यांच्या मापानुसार बदलू शकतो गडद केशरीपासून, फिकट केशरी, पिवळे, पांढरे कॅडमिअम सल्फाईड तयार करण्याच्या पद्धती आहेत. आमच्या प्रयोगशाळेत असे पदार्थ तयार केलेले आहेत.

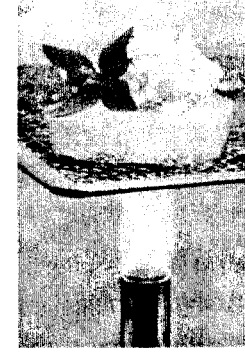
दुसरे साधे उदाहरण म्हणजे पदार्थ द्रवरूप होण्याची क्रिया. बहुतेक सर्व पदार्थांचे

द्रव, घन किंवा वायुरूपात स्थित्यंतर काही ठराविक तापमानाला होत असते. १-२ अंश सेल्सिअसच्या अचूकतेने ते सांगणे शक्य असते. नॅनो आकारातील घनपदार्थांचे द्रवरूप स्थित्यंतर तपमान हे कित्येक शेकड्यांनी बदलते. उदहरणार्थ सोने हे सुमारे १००० अंश सेल्सिअस तापमानाला वितळते परंतु ५ नॅनोमीटर आकाराचे सोन्याचे कण ८०० अंश सेल्सिअस तापमानाला तर ३ नॅनोमीटर आकाराचे कण २५० ते ३०० अंश सेल्सिअस तापमानालाच वितळतात. धातुशास्त्रात त्याचा फार मोठा उपयोग ठरू शकतो.

चुंबकीय शक्ती देखील नॅनोमीटर आकारात फार बदलू शकते. लोखंड, कोबाल्ट, निकेल यांसारखे चुंबकीय शक्ती असणारे आणि सोने, तांबे, चांदी यासारखे अचुंबकीय अशा पदार्थांचे काही नॅनोमीटर जाडीचे एकमेकांवर थर देऊन वैशिष्टपूर्ण पदार्थ केले जातात. त्यांचा संगणक आणि इतर विद्युतउपकरणांत मोठा उपयोग केला जात आहे. परमाणुक्षेत्रातही अशा पद्धतीच्या नॅनो तंत्रज्ञानापासून तयार केलेल्या पदार्थांचा उपयोग आहे.

आतापर्यंत माहित असलेल्या सर्व पदार्थांत हिरा हा उष्णतेचा सर्वात उत्तम वाहक समजला जातो. कार्बनच्या नॅनोमीटर व्यासाच्या नळ्या ह्या हिऱ्याहून अधिक चांगल्या उष्णतावाहक आहेत. मात्र हिऱ्याप्रमाणे त्या विद्युतरोधक बिलकूल नाहीत. उलट काही विशिष्ट नळ्या तांब्याहून अधिक प्रमाणात विद्युतवाहक आहेत. तर काही प्रकारच्या कार्बनच्या नळ्या सिलिकॉनप्रमाणे अर्धवाहकही आहेत. नॅनो कार्बन नळ्या तयार होताना त्यांच्या गुंडाळल्या जाण्याच्या पद्धतीवर त्यांचे गुणधर्म ठरतात. पदार्थविज्ञान व रासायनिक पद्धतींचा योग्य रीत्या वापर करून शास्त्रज्ञांना कार्बन नळ्यांचे गुणधर्म तांब्यात ठेवणे जमते.

उष्णतावाहकपदार्थांची ज्याप्रमाणे काही ठिकाणी आवश्यकता असते तशीच उष्णताविरोधकांची सुद्धा अनेक ठिकाणी गरज भासते. सिलिकॉन ऑक्साईडचे नॅनो जाळीदार एअरोजेलस उष्णता विरोधक असतात. काचेचे तंतू, फोम, अॅम्बेस्टॉस यांसारख्या सध्या वापरात असणाऱ्या पदार्थांच्या साधारण दहापट उष्णताविरोधकशक्ती एअरोजेलमध्ये अधिक आहे. त्याचे कारण म्हणजे एअरोजेलमध्ये द्रवरूप पदार्थ निघून गेल्यामुळे निव्वळ हवा असते.



आमच्या प्रयोगशाळेत तयार केलेला
उष्णतारोधक सिलिका एअरोजेल -
एक नॅनो जाळीदार पदार्थ
(आकृती क्र. ९)

सच्छिद्र पदार्थांची घनता घन पदार्थांपेक्षा बरीच कमी असते. लोखंडाची घनता ७.८ ग्रॅ. / घ. से. मी. असते तर हवेची घनता केवळ १/१००० ग्रॅम / घ. से. मी. एवढी कमी असते. एअरोजेलची घनता साधारणतः हवेच्या १०-२० पटीनेच फक्त जास्त भरते. नॅनोकणांपासून बनविलेले मोठ्या आकाराचे पदार्थही निव्वळ घनपदार्थांपेक्षा कमी घनतेचे ठरतात.

नॅनो पदार्थांच्या गुणधर्मांची यादी करावी तेवढी थोडीच आहे. एवढे मात्र खरे की एकाच पदार्थांचे गुणधर्म त्याच्या आकारावर अवलंबून असल्यामुळे एकच पदार्थ वेगवेगळ्या मापात बनवून इच्छित गुणधर्मांचा पदार्थ मिळविणे शक्य आहे. त्यामुळे वेगवेगळ्या क्षेत्रांत क्रांतिकारक यंत्रे बनविणेही शक्य आहे.

नॅनो तंत्रज्ञानाचा उपयोग

नॅनोपदार्थ बनविण्याच्या पद्धतीमध्ये पदार्थ विज्ञानापासून सूक्ष्मजीवशास्त्रापर्यंत अनेक शास्त्रे व त्यांच्या उपशास्त्रांचा उपयोग केला जात आहे. त्यामुळेच की काय पदार्थांचे उपयोगसुद्धा अवकाशयानापासून घरगुती वस्तूपर्यंतच नव्हे तर औषधे, शस्त्रक्रिया, पर्यावरण, सौंदर्यशास्त्र अगदी सगळी-सगळीकडे होणार आहे. हा विषय त्यामुळे अतिशय मोठा आहे परंतु काही उपयोगांचा येथे विचार करूया.

मागील शतकाचा उत्तरार्ध सिलिकॉन तंत्रज्ञानामुळे गाजला. सन १९४७ मध्ये ट्रान्झिस्टरच्या शोधानंतर इलेक्ट्रॉनिक्स क्षेत्रात लहानाहून लहान इलेक्ट्रॉनिक यंत्रे बनविण्याची जणू चढाओढच चालू होती. सध्या तयार केल्या जाणाऱ्या इलेक्ट्रॉनिक चिपवर एक-दोन कोटी वेगवेगळे भाग सहज असतात परंतु शास्त्रज्ञ -

तंत्रज्ञ तेवढ्यावर खूप नाहीत. त्यांना अधिक कार्यक्षम, कमी उर्जा वापरणारी, स्वस्त, इलेक्ट्रॉनिक यंत्रे हवी आहेत. 'नॅनो' डिप पेन लिथोग्राफी सारख्या किंवा 'स्वजमाव पद्धती' यांसारख्या पद्धतीने हे जमणे शक्य आहे. छोट्या, स्वस्त, प्रचंड प्रमाणात उत्पादन केलेल्या कमी वजनाच्या, कमी उर्जा वापरणाऱ्या यंत्रांमुळे नक्कीच क्रांति घडेल. ह्या यंत्रांचा उपयोग रेडिओ, दळणवळण, संपर्क, मनोरंजन, संगणक, घरगुती वापराची यंत्रे अशांमध्ये नक्कीच होईल.

पूर्वी आपल्याकडे खेडोपाडी रेडिओ पोहचले तेव्हा जगात काय चालले आहे त्याची कल्पना लिहिता वाचता न येणाऱ्या सर्वसामान्यांना येऊ लागली. आता रेडिओची जागा दूरचित्रवाणी संचांनी घेतली आहे. घोरोघरी केबलचेही जाळे विणलेले आहेच. त्यामुळे घर बसल्या सिनेमांचा आनंद लुटता येतो किंवा दूर देशात चाललेले क्रिकेटचे सामने घरात बसून पाहता येतात. सुमारे १९७५ सालाच्या सुमारास कृष्णधवल दूरदर्शन प्रक्षेपण होत होते. दूरदर्शन संचही कृष्णधवल होते. परंतु अलीकडे त्यांची जागा घेतली आहे रंगीत संचांनी. त्यामुळे बऱ्याच लोकांचे समाधान होत असले तरी, हे दूरदर्शन संचही किती अवजड असतात नाही ? पटकन हव्या त्या खोलीत नेता येत नाहीत की कपाटात बंद करून ठेवता येत नाहीत. नाही कमीत कमी पडद्याची गुंडाळी करून ठेवता येते ! शिवाय नाही म्हटले तरी सध्याच्या दूरदर्शन संचाच्या कोपऱ्यावर गोलाकार होऊन चित्रे थोडीशी बेढब होतातच. आता हळू हळू विकसित झालेल्या, सपाट पडदा असलेल्या, अत्यंत कमी जाडीच्या अगदी छतावर बसवता येण्यासारख्या दूरदर्शन संचांच्या जाहिराती येऊ लागल्याच आहेत. फक्त मध्यमवर्गीयांना परवडतील एवढ्या किमती खाली येण्यासाठी थोडे थांबावे लागेल. अशा दूरदर्शन संचाच्या पडद्यावरील पदार्थात आणि त्यात वापरलेल्या तंत्रज्ञानात अति अति सूक्ष्म नॅनो पदार्थांचा भरपूर वापर आहे !

दळणवळणातही आज केवळी क्रांती झालेली आहे. दूरध्वनी, फिरते दूरध्वनी, संगणकीय जाळी हे सर्व तारांच्या जाळ्या विरहीत, शक्तिशाली उपग्रहांमुळे शक्य होत आहे. खरोखर पृथ्वी आज एक लहानसे खेडेच झाले आहे. विमान तंत्रज्ञ तर आता त्यांच्या विमानाचा वेग ५ ते ७ पटीने वाढविण्याच्या मार्गात आहेत. म्हणजे सकाळी ९ वाजता मुंबईत इडली सांबाराचा नाष्टा घ्यायचा आणि त्याच दिवशी दुपारी १२-१ वाजता न्यूयॉर्कमध्ये मुलाबरोबर पिझा खायचा ! हे सारे कशामुळे शक्य होत आहे. खरोखर अर्धवाहकांचा या सर्वात मोठा हातभार आहे आणि त्याचबरोबर अति अति सूक्ष्म तंत्रज्ञानाचाही.

वाढते प्रदूषण, विशेषतः वायुप्रदूषण ही सर्व जगाला भेडसावणारी आजची समस्या आहे. त्यावर हायड्रोजन वायूचा इंधन वापरणे ही शक्यता शास्त्रज्ञ अजमावून पाहत आहेत. त्यात महत्त्वाची अडचण म्हणजे दुचाकी स्वयंचलित वाहने किंवा मोटारगाड्या वगैरेंमध्ये हायड्रोजन ठेवायचा कसा ? त्यासाठी अवजड मोठमोठी धातूंची नळकांडी वापरणे त्रासदायक तर आहेच पण धोकादायकही आहे. वीज आणि प्राणवायूच्या सांनिध्यात आल्यास हायड्रोजन वायूचा स्फोट होण्याची शक्यता असते. मात्र पृथ्वीतलावर पाण्याचा मोठा भाग असल्याने पाण्यापासून हायड्रोजन-प्राणवायू वेगळे करून त्याचा वापर करण्याची कल्पना फारच आकर्षक आहे. मुबलक आणि त्यामुळे स्वस्त इंधन पाण्यापासून मिळू शकते. हायड्रोजनमुळे कोणत्याही प्रकारचे प्रदूषणही नाही.

नॅनो कार्बन नळ्यांमध्ये किंवा कार्बनपासून तयार केलेल्या एअरोजेल्समध्ये हायड्रोजन साठवून ठेऊन इंधनासाठी वापरण्याची शक्यता सध्या अजमावली जात आहे. नॅनो नळ्या किंवा एअरोजेल्सच्या हलकेपणाचे यात फायदे आहेत. शिवाय नळकांड्यातून वायू वाहण्यापेक्षा धोकाविरहीत तंत्र उपलब्ध होऊ शकते. १-२ वर्षात या क्षेत्रात काही प्रगती होऊन हायड्रोजनवर चालणाऱ्या गाड्या अस्तित्वात आल्या तर त्यात आश्चर्य वाटण्याचे कारण नाही !

लेझर किरणांचा वापर आज बऱ्याच क्षेत्रांत होताना दिसतो. मनोरंजनापासून शस्त्रक्रिया, सौंदर्यशास्त्र, युद्धतंत्रापर्यंत लेझर किरण वापरले जात आहेत. लेझर किरणांसाठी लागणारे पदार्थ भविष्यकाळी 'नॅनो' असतील. तेव्हा कळत नकळत सर्वच क्षेत्रे नॅनो पदार्थांनी भरतील.

वैद्यकीय क्षेत्रात नॅनोपदार्थ खूपच उपयोगी पडण्याची शक्यता दिसत आहे चिकित्सा आणि औषध दोन्हीमध्ये नॅनोपदार्थांचा उपयोग होईल. शरीरातील काही विशिष्ट भागांकडे उदाहरणार्थ कर्क रोगाच्या पेशी, यकृत, प्लीहा, हृदय, मेंदू, हाडे, जेथे कोठे काही विशिष्ट आजार असेल तेथे नॅनोमीटर आकाराचे, विशिष्ट पेशींना बरोबर ओळखणारे अगदी थोडे लागणारे पदार्थ, सुई किंवा औषधांद्वारे पाठविणे शक्य होईल. त्यासाठी भविष्यात नॅनो कण फ्युलरिन किंवा कार्बनच्या नॅनो नळीत औषध भरून शरीरात योग्य ठिकणी पोहोचविल्यावर उपयुक्त भागांवर औषधाचा हल्ला होणार नाही अशी कल्पना आहे. शरीरात काहीवेळा कृत्रिम अवयव बसविण्याची वेळ येते. परंतु शरीराने ते योग्य रीतीने चटकन सामावून घेण्याची आवश्यकता असते. अशा कृत्रिम अवयवांवर नॅनोकणांचा असा लेप दिला जाईल

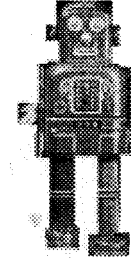
की त्यामुळे ते अवयव शरीरात असे घट्ट बसतील की जणूकाही ते मूळचेच होते ! कर्करोगासारख्या दुखण्यात उपचाराचा फार महत्वाचा भाग म्हणजे तो लवकर आणि कोठे झाला आहे हे समजणे. सध्याच्या चिकित्सा पद्धतीमध्ये कर्करोगाच्या पेशी २-३ मिलीमीटर एवढ्या मोठ्या झाल्याखेरीज लक्षात येत नाहीत. तोपर्यंत रोग अवाक्याबाहेर जाऊ लागतो. त्या जर प्रथमावस्थेतच नाहीशा झाल्या तर कष्टमय उपचार पद्धतीसुद्धा बदलता येणे शक्य होईल. त्यासाठी मोठ्या प्रमाणात सध्या संशोधन चालू आहे. शास्त्रज्ञांना विश्वास वाटतो की अशा गोष्टी त्यांना काही वर्षात साध्य होतील. त्यामुळे नॅनोमीटर आकारांच्या कणांना डी. एन. ए. सारखे रेणू जोडून त्यांचा उपयोग करण्याचे प्रयत्न चालू आहेत. एच. आय. व्ही., अॅन्थ्रेक्स यांसारख्या भयानक जीवघेण्या विषाणूंना ओळखून त्यांचा नाश करण्याचे कामीदेखील नॅनोकण वापरून संशोधन चालू आहे. काही प्रकाशाचे किरणही शास्त्रज्ञांच्या दृष्टिपथात आहेत.

काही शास्त्रज्ञ आणि तंत्रज्ञ तर एवढ्यावरच न थांबता नॅनोतंत्रज्ञानाचा उपयोग शरीरातील पेशींची दुरुस्तीसुद्धा करता येईल काय की जेणेकरून वार्धक्य, मृत्यू टाळता येईल, यावर गंभीरपणे विचार करीत आहेत! यातूनच नॅनो यंत्रमानवाची संकल्पनाही आलेली आहे.

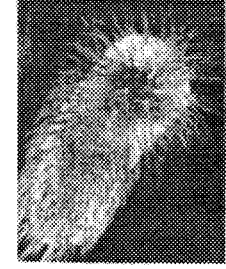
नॅनो यंत्रमानव

मानवानेच तयार केलेला यंत्रमानव, मानवाच्या आज्ञेनुसार अचूक, न दमता अनेक कामे करतो. त्याला थोडे-फार माणसाचेच रूप दिलेले असते. विशेषतः डोके, धड, हात आणि पाय! त्यामुळे यंत्रमानव म्हटले की डोळ्यांपुढे येतो साधारणपणे ४-५ फुट उंचीचा, डोके, हात, पाय, धड असणारा, चालणारा, वळणारा, वाकणारा, वेगवेगळ्या हालचाली करणारा धातूचा सांगाडा. फरक एवढाच की त्याच्या हालचाली 'यांत्रिकी' दिसतात. नैसर्गिकपणा, सहजता, लवचिकता यांचा अभाव दिसतोच. मात्र यंत्रमानव ही केवळ शास्त्रज्ञांची स्वप्नभरारी राहिलेली नसून आधुनिक कारखान्यांतही त्याचा वापर केला जातो. यंत्रमानवामुळे अवघड, रटाळ, धोक्याची कामे विनासायास करून घेणे जमत आहे. यंत्रमानवाने केलेली कामेदेखील एका दर्जाची होतात. शेकडो कामगारांचे काम एकटा यंत्रमानव सहजासहजी करू शकतो. शिवाय तो संपावर जात नाही की लाभांशही मागत नाही. असा हा यंत्रमानव भविष्यकाळात लहान लहान करत नेणे शक्य होईल का ?

कदाचित तो सध्याच्या यंत्रमानवासारखा नसेल. तर एखाद्या पेशी - जीवाणू - विषाणूसारखा दिसेल ! नव्हे 'नॅनो' असल्यामुळे केवळ सूक्ष्मदर्शकाखालीच दिसेल. शिवाय असा यंत्रमानव करायचा की जो दुसऱ्या यंत्रमानवाला क्षणार्धात तयारही करू शकेल ! येथे मात्र शास्त्रज्ञांत बरेच मतभेद आहेत.



सध्याचा यंत्रमानव



येणारा नॅनो यंत्रमानव कदाचित असा असेल !

(आकृती क्र. १०)

के एरिक डेक्सलर नावाचे एक अमेरिकन शास्त्रज्ञ नॅनोतंत्रज्ञानाचे प्रचंड भोक्ते-पुरस्कर्ते आहेत. सन १९९० पासून नॅनोतंत्रज्ञानाला त्यांनी जणू वाहूनच घेतले आहे. त्यांनी एक भविष्यदृष्टी संस्था (फोरसएट इन्स्टिट्यूट) ही स्थापन केलेली आहे. इंजिन्स ऑफ क्रिएशन (निर्मितीची यंत्रे), नॅनोसिस्टम्स अशी काही पुस्तकेही त्यांनी प्रसिध्द केलेली आहेत. त्यांच्या संस्थेमार्फत नॅनोतंत्रज्ञानात काय प्रगति होत आहे याचा सतत पाठपुरावाही केला जात आहे. डेक्सलर ह्यांचा असा दावा आहे की भविष्यकाळात असा यंत्रमानव तयार करता येईल की तो कोणतेही काम अगदी कमी खर्चात, पर्यावरणाचा समतोल न बिघडवता करून टाकेल. ह्या खुज्या यंत्रमानवाला शरीरातील कोणतेही अवयव दुरुस्त करणे सुध्दा सहज शक्य असेल. माणसाचे म्हातारपणच नव्हे तर मरण टाळणेदेखील त्याला शक्य होईल. किंबहुना आज जर काही मृतजीव गोठवून ठेवले तर जेव्हा हे नॅनोतंत्रज्ञान उपलब्ध होईल त्यावेळी त्यांना परत जिवंत करता येईल ! विश्वास बसत नाही ना ? परंतु डेक्सलर आणि आणखीनही काही शास्त्रज्ञ-तंत्रज्ञ आणि इतर काही माणसे आहेत की जी अशा भविष्यात तंत्रज्ञान उपलब्ध होण्याच्या शक्यतेवर विश्वास ठेवीत आहेत. रॉबर्ट सी. डब्लू. एटिंगर आणि राल्फ सी मर्क्ले हे अशातलेच. मर्क्ले यांनी 'द

मॉलिक्युलर रिपेअर ऑफ द ब्रेन' (रेणूंच्या सहाय्याने मेंदूची दुरूस्ती) नावाचे पुस्तक लिहिले आहे. एटिंगर यांनी तर त्याही पुढे जाऊन 'द प्रॉस्पेक्ट ऑफ इममॉर्टॅलिटी' (कायम जिवंत राहण्याची शक्यता) असे पुस्तक लिहिले आहे !

जनुकांचा आराखडा, क्लोनिंगचे तंत्रज्ञान व त्यात शास्त्रज्ञांनी मिळवलेली आघाडी यांचा विचार करता कधीतरी जनुकात बदल करून चिरतरूण, चिरायू होण्याची शक्यता नाकारता येणार नाही ! हे सर्व चांगले का वाईट हा वादाचाच मुद्दा आहे. परंतु असे म्हणतात की अमेरिकेतील ओरिझोना राज्यात 'अल्कार लाइफ एक्स्टेंशन फाऊंडेशन' मध्ये जवळजवळ ३० माणसांची प्रेते गोठवून ठेवली आहेत. नॅनोतंत्रज्ञानावर अतोनात विश्वास ठेवणाऱ्या एफ्सॅंडरी नावाच्या माणसाला तर असे वाटत होते की आपल्या मृत्यूचे आतच म्हणजे २०३० सालामधील शंभराव्या वाढदिवसाच्या आतच हे तंत्रज्ञान उपलब्ध होऊन मरण्याचा प्रश्नच येणार नाही. पण त्याच्या दुर्दैवाने ८ जुलै २००० दिवशीच कर्करोगाने तो मरण पावला. आता त्याला अल्कार लाइफ एक्स्टेंशन फाऊंडेशन मध्ये त्याच्या इच्छेप्रमाणे गोठवून ठेवलेले आहे. मात्र अशा इच्छा पूर्ण करण्यासाठी बरेच पैसे मोजावे लागतात. थोडक्यात इजिप्शियन ममीज् ठेवण्यासारखा हा प्रकार म्हणा ना ! फक्त इजिप्शियन लोकांना पुढील जन्मासाठी शरीराची आवश्यकता भासेल असे वाटत असे (मात्र त्यासाठी हृदय आणि मूत्रपिंडे ठेऊन बाकी सर्व इतर अवयव बाहेर काढले जात असत). प्रत्येकाच्या ऐपतीप्रमाणे त्यांच्या शरीराची जपणूक केली जात असे.

शास्त्रज्ञांचा दुसराही असा एक गट आहे की त्यांना हा 'नॅनो नॉनसेन्स' किंवा मूर्खपणा वाटतो. ह्या सर्वात महत्त्वाचे शास्त्रज्ञ म्हणजे अमेरिकेतील राइस विद्यापीठातील प्राध्यापक स्मॉले. हे रसायनशास्त्राचे प्राध्यापक असून आधी उल्लेख केल्याप्रमाणे त्यांना फ्युलरिनच्या संशोधनाबद्दल सन १९९६ चा इतर दोन सहकाऱ्यांसमावेत नोबेल पुरस्कारही मिळाला होता. अलीकडच्या काळात कार्बनच्या नॅनो नळ्यांबद्दलचे त्यांचे संशोधनही अतिशय अग्रगण्य आणि उच्च दर्जाचे मानले जाते. नॅनोतंत्रज्ञान त्यामुळे त्यांना अजिबात परके नाही. त्यांचा यंत्रमानवाच्या निर्मितीवर, विशेषतः स्वप्रति नॅनो यंत्रमानव तयार करू शकण्याच्या क्षमतेवर बिलकूल विश्वास नाही. त्यांच्या हिशेबाप्रमाणे एक-एक अणु एकत्र आणून, योग्य ठिकाणी ठेवून त्यांचा यंत्रमानव बनवायला कोट्यावधी वर्षे लागतील ! शिवाय नॅनो यंत्रमानवाला जर नॅनोमीटर लांबी रूंदीचे नॅनो जागेत अवयव जुळवायचे असतील तर त्याचे नॅनो हातपायही मोठे ठरतील !

यदाकदाचित नॅनो यंत्रमानव जो एका सेकंदांत दुसरा तयार करू शकतो असा अस्तित्वात आला तर काय होईल याचा विचार करा ! एका सेकंदात दोन यंत्रमानव अस्तित्वात आले तर दुसऱ्या सेकंदाला दोनाचे चार होतील. तिसऱ्या सेकंदाला चाराचे आठ होतील, चौथ्या सेकंदाला आठाचे सोळा. एका मिनिटात दोनाचा साठावा घात (२^{६०}) किंवा कित्येक कोट्यावधी यंत्रमानव तयार होतील आणि थोड्याच वेळात सर्व पृथ्वी व्यापून टाकतील ! या यंत्रमानवांना थांबवणार कोण ? येथे एक गोष्ट आठवते. एका शेतकऱ्याला बाटलीतला राक्षस सापडतो. राक्षस शेतकऱ्याचे सर्व काम ऐकायला तयार असतो. त्याची फक्त एकच अट असते की, शेतकऱ्याने त्याला सतत काम दिले पाहिजे. नाहीतर तो शेतकऱ्याला खाऊन टाकणार. शेतकरी खूष होतो. मस्त आराम करीत शेतातली, घरातली कामे करून घेता येतील म्हणून तो बाटलीतल्या राक्षसाला बाहेर काढतो. शेतकरी एकेक आज्ञा द्यायला लागतो. पण राक्षसच तो ! कोठलेही काम लगेच संपवून 'जी सरकार' म्हणून शेतकऱ्यापुढे उभा ! कामे सांगून शेतकरी दमतो. अखेरीस शेतकऱ्याला कामे सांगता भुई थोडी पडली आणि राक्षस शेतकऱ्यासच गिळून टाकतो.

सुदैवाने आपणास आजच याची काळजी करण्याचे कारण नाही. सध्या तरी शास्त्रज्ञांना अपेक्षित असा नॅनोयंत्रमानव तयार होण्याची शक्यता दिसत नाही. अगदी टोकाला न जाता मानवाच्या भल्यासाठी काही प्रमाणात 'सुवर्णयुग' आणण्यासाठी नॅनो विज्ञान व तंत्रज्ञानाचा उपयोग करता येईल.

सूक्ष्म कणांनी आपले आयुष्य सुखी बनू शकेल तसे त्रासदायकही बनू शकेल. वायुप्रदूषणात अति अति सूक्ष्म कणांचा समावेश आहेच. धूर आणि धुळीचे कण शरीरात जाऊन आपल्याला श्वसनाचे विकार, डोकेदुखी असे आजार होतात. त्यासाठी अर्थातच एअरोजेलसारखा छिद्रदार पदार्थ वापरून त्याच्या जाळ्यात काही कण साठविण्याची कल्पना आहे.

त्यामुळे अति अति सूक्ष्म कणांचा उपयोग आहे, त्रास आहे, तर उपायही आहेत. सुंदर सकाळ-संध्याकाळ देखील हवेत तरंगत असणाऱ्या सूक्ष्म व अतिसूक्ष्म कणांमुळे तर दिसते !

सूक्ष्मदर्शकांचे प्रकार

	किती पटीने पदार्थ मोठा दिसेल	किती लहान पदार्थ स्पष्ट दिसेल
डोळा	-	१०० मायक्रोमीटर
प्रकाशकीय (साधा)	१००	१ मायक्रोमीटर
प्रकाशकीय (संयुक्त)	१०००	१/१० मायक्रोमीटर
इलेक्ट्रॉन (परावर्तन करणारा)	१००००० - १००००००	३ नॅनोमीटर
इलेक्ट्रॉन (पारदर्शक)	१००००० - १००००००	१/१० नॅनोमीटर
विद्युतक्षेत्र इलेक्ट्रॉन उत्सर्जन	१००००० - १००००००	२ नॅनोमीटर
प्रभारित अणू सूक्ष्मदर्शक	१०००००० पेक्षा जास्त	१/१० नॅनोमीटर
अणू सूक्ष्मदर्शक	१०००००० पेक्षा जास्त	१/१० नॅनोमीटर
अणूबल सूक्ष्मदर्शक	१०००००० पेक्षा जास्त	१/१० नॅनोमीटर

याशिवाय फ्लुरोसन्स, रामन, इन्फ्रा रेड, पोलरायझेशन, कॉन्फोकल, निअर फील्ड प्रकाशकीय वगैरे सूक्ष्मदर्शकही वापरात आहेत.

संदर्भ ग्रंथ

- १) सायंटिफिक अमेरिकन - सप्टेंबर २००१
- २) सायन्स - नोव्हेंबर १९९१, फेब्रुवारी १९९६
- ३) फिजिक्स वर्ल्ड - जून २०००
- ४) कार्बन (Exploratory Series-6) - सुलभा कुलकर्णी
- ५) फिजिक्स एज्युकेशन - जानेवारी - मार्च १९९८
- ६) www.21cm.com
- ७) www.alcor.org.com
- ८) www.washtech.com

शब्दसूची

अग्रबिंदु	vertex
अणु	atom
अणुबल	atomic force
अणुबल सूक्ष्मदर्शक	atomic force microscope
अणु सूक्ष्मदर्शक	scanning tunneling microscope
अतिनील किरण	ultra violet rays
अर्धवाहक	semiconductor
उपग्रह	satellite
ऊर्जा	energy
ऋण	negative
कर्षण-प्रतिकर्षण	attraction- repulsion
कार्बन नळ्या	carbon nanotubes
क्ष किरण	x-rays
चुंबकीय	magnetic
छायाचित्र	photograph
जाळीदार	porous
जीवाणु	bacteria
डी.एन.ए.	deoxyribonucleic acid (DNA)
तक्षणाकृती	lithography
धन	positive
धातु	metal
नळकांडी	cylinders
निर्वात	vacuum
निष्क्रिय	passive
परिवर्तन	reflection
पापुद्रा	thin film
पूड	powder

पृष्ठभाग	surface
पेशी	cell
प्रकाश संवेदनशील	photosensitive
प्रतिकृति	model
प्रतिदीप्तशील	fluorescent
प्रथिने	proteins
प्रभारित अणु	ions
प्रभारित अणु सूक्ष्मदर्शक	field ion microscope
भिंग	lens
मिती	dimension
मिश्रधातु	alloy
मुरंबा	jelly
यंत्रमानव	robot
रेखाकृति	ray diagram
रेणु	molecule
लेप	deposition
वस्तुमान	mass
विकरे	enzymes
विद्युत क्षेत्र इलेक्ट्रॉन उत्सर्जन	field emission microscope
विद्युत जाळी	circuit
विद्युत दाब	voltage
विद्युत प्रवाह	current
विद्युत यंत्रे	electronic devices
विद्युत रोधक	insulator
विद्युत वहन	conduction
विश्लेषण	analysis
विषाणु	virus
संगणक	computer
सूक्ष्मदर्शक	microscope
स्रोत	beam
स्वजमाव	self assembly

मराठी विज्ञान परिषद, पुणे विभाग

उद्दिष्टे

- 1 मराठीतून विज्ञानाचा प्रसार करणे.
- 2 विज्ञान व्यक्त करण्यासाठी मराठी भाषा समृद्ध करणे.
- 3 सामाजिक आणि व्यक्तिगत जीवनात वैज्ञानिक दृष्टिकोन रुजविणे व त्याचे संवर्धन करणे.
- 4 अंधश्रद्धा व पारंपारिक गैरसमजुती ह्यांचे निराकरण करणे.

संस्थेची प्रकाशने

अ. आपटे बंधू स्मृति-व्याख्यानमाला

1. पुष्प पहिले : फुलपाखरांच्या जगात : डॉ. मकरंद दाबक रु. 5/-*
2. पुष्प दुसरे : वनस्पति संकलन आवृत्ती दुसरी : डॉ. वा. द. वर्तक रु. 5/-
3. पुष्प तिसरे : खडक आणि खनिजे : प्रा. प्र. वि. सोवनी रु. 5/-*
4. पुष्प चौथे : प्रयोगाद्वारे विज्ञान परिचय : डॉ. व. त्र्यं. चिपळोणकर रु. 10/-*
5. पुष्प पाचवे : खनिज तेल आणि नैसर्गिक वायू उद्योग :
डॉ. ल. खं. क्षीरसागर रु. 10/-
6. पुष्प सहावे : वंशवेल : डॉ. दिलीप घेसास रु. 10/-
7. पुष्प सातवे : नुसत्या डोळ्यांनी आकाशदर्शन : हेमंत वा. मोने रु. 10/-
8. पुष्प आठवे : रोगनिदानासाठी विकृतिविज्ञान : डॉ. र. नी. गोडबोले रु. 25/-
9. पुष्प नववे : पेट्रोरसायने - प्रगती सेतू : डॉ. सुधीर गाडगीळ रु. 10/-
10. पुष्प दहावे : कीटकांची भाषा : डॉ. दत्तात्रय नाईक रु. 10/-
11. पुष्प अकरावे : जैवउर्जा : डॉ. दिलीप रानडे रु. 10/-
12. पुष्प बारावे : प्रतिरोध संस्था, रक्तगट आणि लसीकरण :
डॉ. राजेंद्र देवपूरकर रु. 10/-
13. पुष्प तेरावे : जैविक विविधतेचे महत्त्व : गुरुदत्त वाघ रु. 20/-
14. पुष्प चौदावे : सुदूर संवेदन : प्रा. वि. वि. पेशवा रु. 10/-
15. पुष्प पंधरावे : प्राचीन संस्कृतींचे कालमापन : डॉ. अनुपमा क्षीरसागर रु. 15/-
16. पुष्प सोळावे : जैव यांत्रिकी : डॉ. प्रमोद जोगळेकर, प्रा. सौ. छाया सोमण रु. 15/-
17. पुष्प सतरावे : जैव-संवेदक : डॉ. मुकुंद देशपांडे रु. 15/-

ब. अन्य प्रकाशने

1. शास्त्रीय दृष्टिकोनातून रु. 5/-*
2. गृहविज्ञान गप्पा (तिसरी आवृत्ती) रु. 5/-
3. जिज्ञासा (दुसरी आवृत्ती) रु. 5/-
4. पार्थेनियम अथवा गाजर गवत रु. 5/-
5. मधुमेह : आहार आणि उपचार रु. 5/-*
6. एक नवीन शास्त्र (कै. स. वि. आपटे यांची पुनर्मुद्रित लेखमाला) रु. 10/-*
7. लोणार : वैज्ञानिक परिचय रु. 15/-*

(* आवृत्ती संपली)